

PROPUESTA DE MODIFICIACIÓN DE DISEÑO Y MATERIALES DE UNA EMBARCACIÓN CON MOTORES ELÉCTRICOS Y ENERGÍA SOLAR

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Júlia Reche Tejero

Dirigido por:

Marcel·la Castells Sanabra

Sergio Iván Velásquez Correa

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, setembre 2019

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Centre de Cooperació per al Desenvolupament



Agradecimientos

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos, por apoyarme durante la etapa académica que hoy culmina. Por su apoyo incondicional en todo momento, en especial a Carles.

A Patrice, por abrirme las puertas de este proyecto ofreciéndome su conocimiento de Eboat Panamá en todo momento.

A Marcel·la Castells y Sergio Iván Velásquez, por su colaboración y dedicación como tutores del proyecto y por todo lo aprendido gracias a ellos, siempre con su persistente motivación.

Este proyecto ha sido realizado con el apoyo del Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la Universidad Politècnica de Catalunya.

Resumen

Actualmente el transporte entre las islas del Archipiélago de las Perlas en Panamá se lleva a cabo a través de pequeñas embarcaciones con motores dos tiempos que, en muchos casos son motores viejos que consumen mucha gasolina y generan un elevado impacto medioambiental. Un ejemplo de medida sostenible y de ahorro de combustible es el uso de la primera embarcación ecológica panameña con motores eléctricos y propulsada el 100% con energía solar. Sin embargo, esta embarcación no puede competir en velocidad comparada con las embarcaciones existentes debido al sistema propulsivo utilizado.

El objetivo principal de este proyecto es proponer modificaciones en el diseño del casco y en el uso de materiales estructurales para reducir la resistencia al avance de esta embarcación. Con estas modificaciones se podrían alcanzar velocidades próximas a las velocidades de las embarcaciones que actualmente operan en esta zona siendo así una embarcación competitiva y más atractiva para los habitantes de la zona.

Este TFG se enmarca dentro del proyecto integrado en el Programa de Actividades de Cooperación de la UPC “Formación en navegación sostenible y evaluación de los usos energéticos y la sostenibilidad ambiental de la población de Isla Saboga (Panamá)”, proyecto desarrollado por la Universitat Politècnica de Catalunya y la Universidad Marítima Internacional de Panamá.



Abstract

Currently, transportation between the islands of Archipiélago de las Perlas in Panama is carried out through small vessels with two-stroke engines, which in many cases are old engines that consume a lot of gasoline and generate a high environmental impact. An example of sustainable measure and fuel saving is the use of the first Panama ecological vessel with electric motors and 100% powered by solar energy. However, this vessel cannot compete in speed compared to existing vessels due to the propulsive system used.

The main objective of this project is to propose modifications in the design of the hull and in the use of structural materials to reduce the resistance to the advance of this vessel. With these modifications, speeds close to the currently operating ones in this area could be achieved, thus making it a competitive and more attractive vessel for the people of the area.

This project is part of the project integrated in the Cooperation Activities Program of the UPC "Training in sustainable navigation and evaluation of energy uses and environmental sustainability of the population of Isla Saboga (Panama)", a project developed by the Universitat Politècnica de Catalunya and the International Maritime University of Panama.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTADO DE IMÁGENES	IX
LISTADO DE TABLAS	X
LISTADO DE ECUACIONES.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	12
2. EMBARCACIÓN ACTUAL.....	15
2.1 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO	15
2.1.1 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	16
2.1.2 GEOMETRÍA DEL CASCO	16
2.2 ESTUDIO ESTRUCTURAL	20
2.2.1 COEFICIENTES DE FORMA.....	20
2.2.2 ESTIMACIÓN DE PESOS – CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD	21
2.3 SISTEMA PROPULSIVO	22
2.3.1 RESISTENCIA AL AVANCE	22
2.3.2 POTENCIA	27
2.3.3 MOTOR ELÉCTRICO	29
2.3.4 BATERÍAS.....	31
2.3.5 PLACAS SOLARES	31
2.4 ESTUDIO ESTABILIDAD.....	33
2.4.1 CONDICIÓN DE DESPLAZAMIENTO EN ROSCA	34
2.4.2 CONDICIÓN DE CARGA MÁXIMA	36
2.4.3 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD Y FLOTABILIDAD.....	38
2.5 PRESUPUESTO	40
3. PROPUESTAS DE MODIFICACIONES	41



3.1 CAMBIO DE MATERIAL	41
3.1.1 TIPOS DE MATERIALES.....	41
3.1.2 COMPARATIVA CON CES EDUPACK®	42
3.1.3 ELECCIÓN FINAL EN BASE A LA COMPARATIVA CON CES EDUPACK	46
3.2 PLACAS SOLARES	51
3.2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	51
3.2.2 PANEL SOLAR	52
3.2.3 PARTES DE UNA PLACA FOTOVOLTAICA.....	52
3.2.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	53
3.2.5 COMPARATIVA DE DISTINTOS MODELOS DE PLACAS.....	53
3.2.6 ELECCIÓN FINAL EN BASE A LA COMPARATIVA DE DISTINTOS MODELOS DE PLACAS	59
3.2.7 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	60
3.3 BATERÍAS	60
3.3.1 CARACTERÍSTICAS.....	60
3.3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS	61
3.3.3 TIPOS DE BATERÍAS.....	62
3.3.4 COMPARATIVA DE DISTINTOS MODELOS DE BATERÍAS	63
3.3.5 ELECCIÓN FINAL EN BASE A LA COMPARATIVA DE DISTINTOS MODELOS DE BATERÍAS	65
3.4 RESULTADOS EMBARCACIÓN MODIFICADA.....	65
<u>4. CONCLUSIONES.....</u>	<u>66</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>67</u>
<u>ANEXO 1. INFORMACIÓN EBOAT PANAMÁ</u>	<u>69</u>
<u>ANEXO 2. CÁLCULO HOLTROP.....</u>	<u>93</u>
<u>ANEXO 3. DISEÑO 3D.....</u>	<u>95</u>
<u>ANEXO 4. UNE-EN ISO 12217-1:2017</u>	<u>97</u>
<u>ANEXO 5. MATERIALES CES EDUPACK</u>	<u>101</u>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Centre de Cooperació per al Desenvolupament



Listado de imágenes

Imagen 1. Espiral de diseño empleada por J. Harvey Evans [3]	13
Imagen 2. Embarcación Sol de mi vida vista desde proa. vida visto desde popa.	15
Imagen 3. Embarcación Sol de mi	
Imagen 4. Torqueado Cruise 10.0 RS	15
Imagen 6. Modelo generado por Rhinoceros	17
Imagen 5. Modelo generado por Sketchup.....	17
Imagen 7. Vista de las cuadernas en planta por Rhinoceros	
Imagen 8. Vista de las cuadernas en perspectiva por Rhinoceros.....	18
Imagen 9. Vistas completas de toda la superficie del casco	18
Imagen 10. Superficie del casco importada a Maxsurf	19
Imagen 11. Gráfica de la resistencia al avance según los métodos seleccionados	26
Imagen 12. Gráfica de la resistencia al avance a partir del método de Holtrop	27
Imagen 13. Motor fueraborda Torqueado Crusie 10.0 RL. Fuente: Catálogo de productos Torqueado	30
Imagen 14. Esquema sistema generación energía eléctrica. Elaboración propia.....	32
Imagen 15. Curva de estabilidad estática para desplazamiento en rosca	35
Imagen 16. Curva de estabilidad estática para máxima carga.....	38
Imagen 17. Relación Módulo de Young – Densidad materiales seleccionados. CES Edupack.	43
Imagen 18. Relación Precio – Densidad materiales seleccionados. CES Edupack.	43
Imagen 19. Clasificación de los materiales según $E13\rho$	45
Imagen 20. Clasificación de los materiales según $KI\sigma f$	46
Imagen 21. Esquema de una viga topi sándwich [9].....	46
Imagen 22. Partes de una célula fotovoltaica. [10].....	52
Imagen 23. Concepto y Componentes principales de una celda de Li-ión [17]	61
Imagen 24. Batería NiCd de Panasonic	62
Imagen 25. Detalle frontal de la Batería de Litio Pylontech US2000B Plus 48V 2,4kWh	62
Imagen 26: Estado de desarrollo tecnológico de las baterías de tracción de vehículos eléctricos. Fuente: Catenacci, et al. 2013. Energy Policy 61 (2013) 403-413.....	63

Listado de Tablas

Tabla 1. Dimensiones y características principales.....	16
Tabla 2. Resultados de los cálculos hidrostáticos.....	19
Tabla 3. Resultado estimación de pesos a máxima carga.....	21
Tabla 4. Resultados de la resistencia al avance de la embarcación sometida a distintos métodos estadísticos	26
Tabla 5. Resistencia al avance y potencia en función de la velocidad	28
Tabla 6. Características principales de las baterías ZGnewenergy	31
Tabla 7. Características principales placa solar ReneSola Módulo Virtus II. Elaboración propia.....	33
Tabla 8. Verificación criterios estabilidad para desplazamiento en rosca.....	36
Tabla 9. Verificación criterios estabilidad para máxima carga	38
Tabla 10. Determinación de las aberturas de inundación	39
Tabla 11. Ensayo de la altura de inundación	39
Tabla 12. Ensayo de compensación de pesos en la condición del peso de la tripulación al 75% de la eslora	39
Tabla 13. Ensayo de compensación de pesos en la condición del peso de la tripulación al 25% de la eslora	40
Tabla 14. Características principales de los materiales seleccionados. Elaboración propia.....	42
Tabla 15. Rigidez – diseño limitado con mínima masa	44
Tabla 16. Daño – tolerancia de diseño	45
Tabla 17. Factor de impacto longitudinal de los paneles de fondo. Elaboración propia.....	48
Tabla 18. Factor de reducción de área de los paneles de fondo. Elaboración propia.....	49
Tabla 19. Pbmdbase según los paneles de fondo. Elaboración propia.....	49
Tabla 20. Factores obtenidos de los paneles. Elaboración propia.....	50
Tabla 21. Espesor mínimo requerido. Elaboración propia.....	50
Tabla 22. Elección final propuesta de modificación de material. Elaboración propia.....	51
Tabla 23. Características principales placa solar SunPower X-Series: X22-360. Elaboración propia.[11].....	53
Tabla 24. Características principales placa solar Jinko 275W. Elaboración propia.[12]	54
Tabla 25. Características principales placa solar PANASONIC VBHN325SJ47. Elaboración propia.[13]	55
Tabla 26. Características principales placa solar Aleo X59. Elaboración propia.[14].....	56
Tabla 27. Características principales placa solar REC 280TP. Elaboración propia.[15].....	57
Tabla 28. Características principales placa solar Shenzhen solar SHINE Sunpower SN-MH200W. Elaboración propia.[16]	57
Tabla 29. Relación precio-peso de los distintos modelos de placas solares nombrados. Elaboración propia.	59
Tabla 30. Características de los subtipos de las baterías de Li-ión. Fuente: (Huat, Yonghuang y Tay 2015).....	63
Tabla 31. Principales características y factores por tipología de batería recargable. Fuente: (Catenacci et al. 2013).....	63
Tabla 32. Características principales de las baterías SUPER B LITIO SB12V100E-ZC [18]	64
Tabla 33. Características principales de las baterías Mastervolt MLI Ultra [19].....	64
Tabla 34. Características principales de las baterías Batería HE Victron Energy [20].....	64
Tabla 35. Características principales de las baterías de fosfato de hierro y litio Victron Energy [21]	64

Listado de Ecuaciones

<i>Ecuación 1. Número de Reynolds</i>	<i>23</i>
<i>Ecuación 2. Número de Froude</i>	<i>23</i>
<i>Ecuación 3. Potencia al freno</i>	<i>28</i>
<i>Ecuación 4. Rendimiento propulsivo</i>	<i>28</i>
<i>Ecuación 5. Rendimiento del casco</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 6. Potencial final del motor</i>	<i>29</i>
<i>Ecuación 7. Área de captación.....</i>	<i>32</i>
<i>Ecuación 8. Masa total de una viga tipo sandwich</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 9. Densidad total de una viga tipo sandiwch</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 10. Presión base del fondo.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 11. Presión de los paneles de fondo</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 12. Presión mínima en los paneles de fondo</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 13. Factor de impacto longitudinal.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 14. Factor de reducción de área.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 15. Presión del costado de la embarcación.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 16. Presión mínima en el costado de la embarcación</i>	<i>49</i>

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la contaminación actual en nuestro planeta, causada en parte por la navegación marítima, mi interés por las energías renovables ha ido en aumento durante el transcurso de mi carrera como ingeniera en sistemas y tecnologías navales. Aunque el objetivo último sea llegar a encontrar recursos para el transporte marítimo comercial, la cual contribuye significativamente al cambio climático y a la acidificación del océano, se puede empezar a dejar de emitir contaminantes en embarcaciones de menor tamaño.

El presente proyecto pretende proponer un conjunto de modificaciones en el diseño estructural de una embarcación sostenible totalmente eléctrica ya existente en Panamá por la empresa Eboat Panamá [1]. El principal objetivo se basará en la reducción de la resistencia al avance para alcanzar velocidades similares a las otras embarcaciones menos sostenibles que navegan por la misma zona. Eboat Panamá parte de una embarcación de recreo muy común en los países de latino américa tipo “panga”, usada como transporte en las islas del Archipiélago de las Perlas en Panamá. Allí, de manera habitual, se usan este tipo de embarcaciones de recreo con unos motores muy contaminantes. Queriendo seguir con la oportunidad de crecimiento de esta embarcación ecológica plantearemos el estudio estructural y de estabilidad de la embarcación con un pequeño desglose de presupuesto para finalmente poder realizar una comparación con algunas modificaciones de mejora planteadas.

A continuación, se enumeran las ventajas que puede aportar este tipo de innovación:

- Aunque pueden requerir un mayor coste inicial que las embarcaciones convencionales, siguen siendo más rentables debido a su bajo coste de mantenimiento. Los motores eléctricos ocupan un menor espacio, y su mantenimiento es prácticamente nulo. Además, tienen mayor potencia que un diésel, que necesita subir de revoluciones. De hecho, los grandes buques de carga ya van equipados con motores eléctricos. Aunque la velocidad aumenta el consumo de las baterías, siendo un problema en los yates de recreo impulsados por motores eléctricos, las nuevas baterías de Ion-Litio, similares a las que se utilizan en automoción, permiten mayor rapidez de recarga, mayor potencia y mayor autonomía.
- Respecto a la estructura supone facilidad técnica de construcción, con un material ligero y cómodo de manipular. Al ser una embarcación de pocas dimensiones facilita su almacenamiento.
- Des del punto de vista medioambiental, gracias al uso de los paneles solares es posible abastecer la embarcación con energía cien por cien renovable. Cada año una embarcación 100% renovable genera 83 litros menos de aceite en el agua, 0,1 kg menos de partículas contaminada en metales pesados en el coral, derramando menos productos contaminantes al mar [1]. Siempre es preferible escuchar las olas del mar contra el casco antes que el zumbido del motor.

Como en la mayoría proyectos en el ámbito de diseño y construcción naval nos guiaremos por la “espiral de diseño” empleada por J. Harvey Evans en 1959, en un artículo publicado en el ASNE Journal [2].

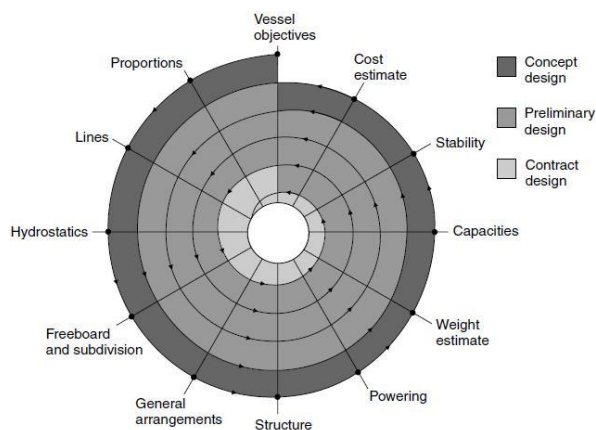


Imagen 1. Espiral de diseño empleada por J. Harvey Evans [3]

Este proyecto tiene como objetivo centrarse en la fase contractual, es decir, definir el desarrollo técnico de la construcción de la embarcación y comprobar que se cumplan los requisitos de diseño y seguridad. Trataremos de proporcionar información suficiente y una evaluación básica técnico-económica de las alternativas a realizar.

Debemos tener en cuenta que partimos de un diseño ya existente pero que no existen documentos actuales de la misma. Es por este motivo que es necesario realizar el diseño preliminar inicial de la embarcación actual y posteriormente realizar las modificaciones propuestas.

La metodología del trabajo se ha realizado según la estructura de la espiral de diseño y se detalla a continuación:

- Base de datos y dimensiones principales. Se obtendrán todas las dimensiones y características principales que definen la embarcación actual.
- Geometría del casco. Se detallará la forma de la embarcación, teniendo en cuenta los criterios de diseño para una embarcación de casco plano. Para este proceso nos ayudaremos de las herramientas informáticas Rhinoceros® y Maxsurf®.
- Sistemas de propulsión. Se estimará la resistencia al avance de la embarcación actual para comprobar que sea la más óptima y se definirá el sistema propulsivo.
- Sistemas auxiliares. Se determinarán los sistemas auxiliares, siempre necesarios, que puede llevar la embarcación.
- Disposición. Se pretende diseñar la distribución general de los espacios principales lo más adecuada posible.
- Estructura. En este punto se tiene que utilizar la normativa ISO-12215-5:2019 [4] para asegurar un buen cumplimiento con los estándares lógicos. Se determinará la disposición de los refuerzos que tiene que tener la embarcación, calcular sus espesores y calcular los espesores del casco de la embarcación.
- Pesos. Se estimará el centro de gravedad a partir de una lista de los diferentes elementos básicos que actúan sobre el peso total de la embarcación.
- Estabilidad y comportamiento en el mar. Se realizará el estudio de estabilidad siguiendo la disposición de pesos previa en distintas condiciones de carga para afinar la seguridad y viabilidad del modelo.
- Coste. Se hará una estimación del coste total de la embarcación teniendo en cuenta el material utilizado y los elementos necesarios que incorpora.

Además, se pretende realizar un estudio de cambio de materiales o elementos de propulsión, siempre eléctricos, que mejoren la potencia de la embarcación sin desajustar el presupuesto.

Para facilitar el estudio se requerirá de unos conocimientos sobre el uso de programas como Rhinoceros®, CES Edupack® y Maxsurf®.

Es decir, el presente proyecto tendrá como objetivo un estudio técnico de una embarcación sostenible existente totalmente eléctrica. Este estudio técnico se ha realizado debido a la falta de documentación técnica de la embarcación actual. Además, se pretende extender el proyecto realizando un estudio con diversas propuestas de modificación. Estas modificaciones se centrarán en reducir el peso total para un mejor rendimiento, incrementando así la velocidad máxima.

2. EMBARCACIÓN ACTUAL

La embarcación “Sol de mi vida” de la empresa Eboat Panamá es una embarcación tipo “PANGA”. Este tipo de embarcación es muy común en latino américa. La construcción de su casco (fondo) es de forma plana, su estructura es de madera y consta de quilla, cuadernas y roda, en la popa tiene un tablón de madera (espejo) y su proa es pronunciada. Se utiliza como transporte de carga, pasajeros o turistas y también puede estar preparada para distintos métodos de pesca. Las embarcaciones de casco plano están destinadas para el uso profesional de la pesca, la poca resistencia hidrodinámica permite instalar a popa motores de baja potencia para obtener una marcha constante. Esta forma les permite planear en pocos segundos con un bajo consumo de combustible.

Actualmente, este tipo de lanchas de madera se reemplazan por materiales como el acero o fibra de vidrio.



Imagen 2. Embarcación Sol de mi vida vista desde proa.



Imagen 3. Embarcación Sol de mi vida visto desde popa.

Para el anteproyecto que se mostrará en el siguiente capítulo nos basamos en esta lancha prototipo ya existente. A diferencia de los distintos modelos prestados por Eboat Panamá se caracteriza por tener bancos laterales, adaptados para pequeños grupos de personas, aproximadamente 8 personas en aguas tranquilas.

Como veremos en la *Tabla 1. Dimensiones y características principales*, el motor utilizado es el modelo Torqeedo Cruise 10 kW, que permite una velocidad máxima de 7,5 nudos. Además, dispone de un pack de baterías de 360Ah en 48 volt, es decir, 17 kW dando una autonomía sin techo solar de 2 horas y media a máxima velocidad.

Además de la propulsión eléctrica, la carga de las baterías de alimentación también se realiza mediante un sistema de placas solares instalado en la propia embarcación. Para alimentar el motor eléctrico se dispone de un techo solar de 2kW que permite la entrada de 3kW/día en un día muy nublado y hasta 12kW/día en un día soleado. El techo solar permite dar una autonomía mínima de 3 horas los días nublados, y aproximadamente 5 horas los días soleados a máxima velocidad.



Imagen 4. Torqeedo Cruise 10.0 RS

2.1 Diseño y dimensionamiento

Para el análisis del diseño y dimensionamiento de la embarcación actual tenemos que tener en cuenta que disponemos de poca información. Aun así, se ha recopilado la información obtenida a partir de las fichas técnicas ya existentes de la embarcación “Sol de mi vida”, información necesaria para el dimensionamiento de una embarcación.

Además, calcularemos los aspectos preliminares que creamos necesarios para el estudio completo. Con esta base de datos podremos realizar un diseño 3D con el programa Rhinoceros, complementando con el software Maxsurf para el estudio estructural y de estabilidad de la embarcación.

2.1.1 Dimensiones y características principales

Para poder detallar el dimensionamiento de la embarcación referenciaremos en la *Tabla 1. Dimensiones y características principales* sus dimensiones principales y mencionaremos los elementos principales que comportan la embarcación eléctrica, como son el motor, las baterías y los paneles solares.

Tabla 1. Dimensiones y características principales

Material:	Fibra de Vidrio
Eslora:	22 Pies – 6,7m
Manga:	6,5 Pies – 1,95m
Puntal:	3 Pies – 0,9m
Calado:	0,22m
Desplazamiento:	1,600 T
Motor:	Fabricación: Torqeedo (Alemania)
	Modelo: Cruise 10.0R Con GPS y Smart Control
	Potencia: 10 kW (20HP Eficiencia) – 13,41 CV
	Energía: Eléctrico
Baterías:	Fabricación: ZGnewenergy CO., Ltd (China)
	Modelo: LiFePO4 Battery with Aluminum Case
	Células: 60Ah 3,2v with BMS
	Energía: 360Ah 51,2v
Techo Solar:	Fabricación: Casa de la batería (Panamá)
	Modelo: Rigid panel 255W
	Controlador: Victorn MPPT 150/70
	Energía: 2kW Max

2.1.2 Geometría del casco

Diseño y modelado 3D

Para facilitar el estudio del casco realizaremos un diseño 3D. Disponemos de distintas opciones para poder realizar esta simulación, en este caso se ha elegido el programa más adaptado al sector naval, importando el modelo inicial creado con Sketchup al programa Rhinoceros. Este programa permite desarrollar superficies complejas de manera simple y ofrece buenos resultados. Además, el programa Rhinoceros facilita la exportación de superficies al programa *Maxsurf*. El modelo inicial ha sido proporcionado directamente por la empresa Eboat Panamá.

Rhinoceros utiliza un modelo matemático llamado NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline). Las NURBS son representaciones matemáticas de geometría 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, desde líneas en 2D como curvas, arcos o círculos hasta las superficies o sólidos más complejos en 3D. Con estas curvas podemos representar con mucha precisión objetos geométricos como líneas 2D, círculos, arcos, elipses, esferas y toroides, así como formas geométricas libres, por ejemplo, la superficie de un casco.

En 1985, Formation Design Systems, creó el primer modelador interactivo de NURBS llamado Macsurf (posteriormente Maxsurf). Maxsurf es un sistema de diseño para cascos de barcos, botes y yates, que utilizaban los diseñadores para conseguir una alta precisión en sus diseños.

Como se ha comentado anteriormente exportaremos la embarcación creada en Sketchup obtenida por la empresa Eboat Panamá y la importaremos al programa Rhinoceros para re-diseñar la embarcación y adecuarla más a la realidad.



Imagen 6. Modelo generado por Sketchup

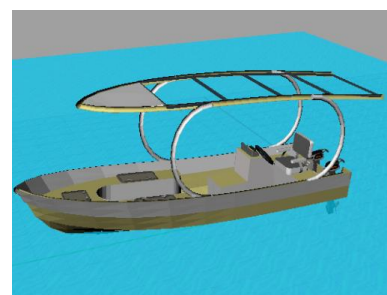


Imagen 5. Modelo generado por Rhinoceros

Primero de todo escalaremos la embarcación a la eslora, manga y puntal determinada en la Tabla 1. Dimensiones y características principales. Para poder analizar la embarcación debidamente nos centraremos solo en el casco. Tendremos que dibujar el casco de nuevo para que sea una superficie única y no nos cause problemas.

Además, debemos tener en cuenta que la realización inicial de la representación de la embarcación en 3D no representa la forma del casco plana que estamos definiendo en todo momento. Por ello, tendremos que adecuarlo a la realidad.

En cuanto a las cuadernas, cabe decir que con el programa Rhinnoceros no hace falta definir demasiadas cuadernas para generar una superficie. Aun así, crearemos unas superficies transversales al suelo del casco con el fin de definir las cuadernas principales del casco. Con la ayuda de estos paneles podemos redibujar la estructura principal del casco generando las cuadernas y la quilla correspondientes que permitirán generar una superficie unida.

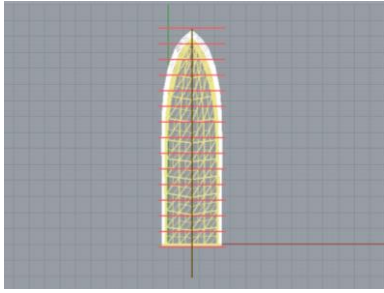


Imagen 7. Vista de las cuadernas en planta por Rhinoceros

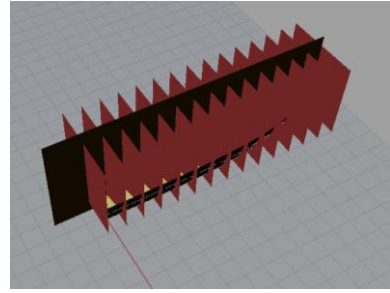


Imagen 8. Vista de las cuadernas en perspectiva por Rhinoceros

Para poder trabajar correctamente con estos programas de diseño, y poder después importar el diseño en un programa de cálculo, tenemos que crear superficies únicas.

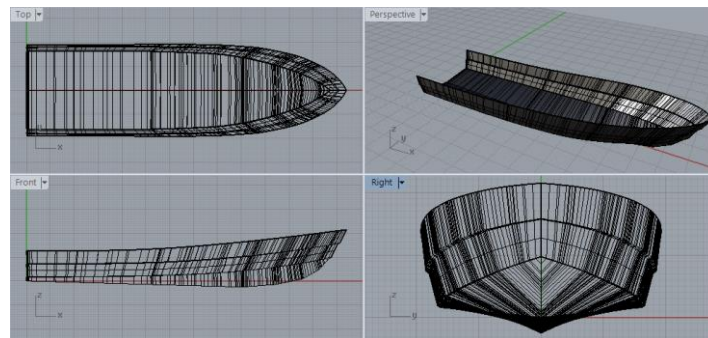


Imagen 9. Vistas completas de toda la superficie del casco

Una vez determinado el nuevo casco con las dimensiones principales podremos importar el modelo al software *Maxsurf* con un archivo IGES y extraeremos todas las características dimensionales e hidrostáticas del casco. El programa *Maxsurf* permite calcular los parámetros más significativos de la embarcación, tales como eslora de flotación, el desplazamiento que ésta tendrá, el coeficiente prismático, el coeficiente de bloque, entre otros. Además, como podemos ver en la Imagen 9 y la Imagen 10, permite obtener un plano de formas de la embarcación en dos dimensiones.

Inicialmente se genera la línea de flotación sobre el casco para obtener un desplazamiento similar a lo deseado. Previamente tendremos en cuenta un calado de 0,22m para después obtener los resultados de los cálculos hidrostáticos de la embarcación.

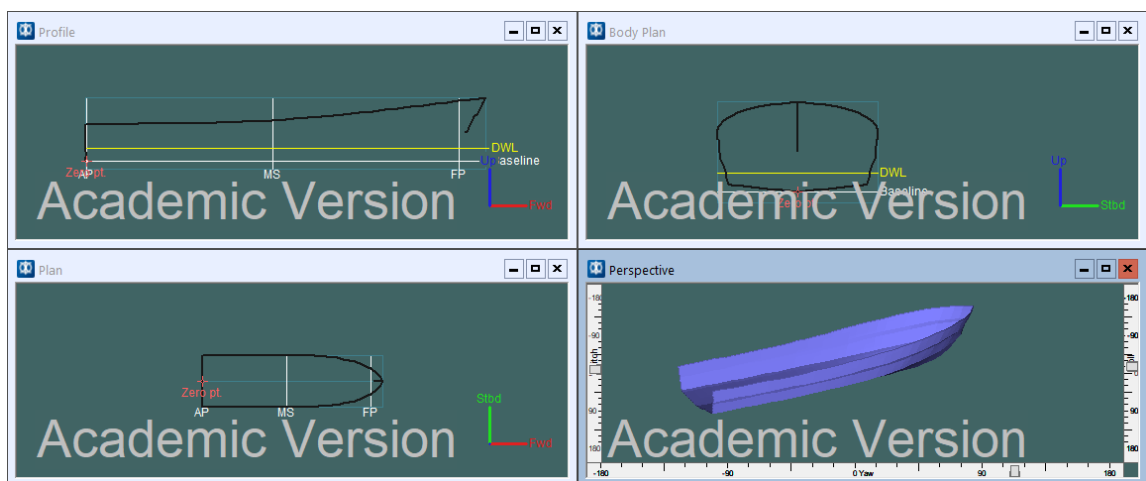


Imagen 10. Superficie del casco importada a Maxsurf

Tabla 2. Resultados de los cálculos hidrostáticos.

Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1,639	t
2	Volume (displaced)	1,599	m ³
3	Draft Amidships	0,220	m
4	Immersed depth	0,347	m
5	WL Length	6,088	m
6	Beam max extents on WL	1,727	m
7	Wetted Area	9,908	m ²
8	Max sect. area	0,337	m ²
9	Waterpl. Area	8,718	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,780	
11	Block coeff. (Cb)	0,438	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,683	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,829	
14	LCB length	2,520	from ze
15	LCF length	2,590	from ze
16	LCB %	41,390	from ze
17	LCF %	42,542	from ze
18	KB	0,116	m
19	KG fluid	0,358	m
20	BMT	1,172	m
21	BML	13,039	m
22	GMt corrected	0,930	m
23	GML	12,797	m
24	KMt	1,288	m
25	KML	13,155	m
26	Immersion (TPc)	0,089	tonne/c
27	MTc	0,034	tonne.
28	RM at 1deg = GMt Disp. si	0,027	tonne.
29	Length:Beam ratio	3,525	
30	Beam:Draft ratio	4,975	

31	Length:Vol ^{0.333} ratio	5,206
32	Precision	Medium 70 stati

Density (water)

Std. densities

VCG

Como se puede observar en la Tabla 2, los valores obtenidos del diseño preliminar con los programas de diseño son valores similares a la embarcación actual (Tabla 1).

2.2 Estudio Estructural

2.2.1 Coeficientes de forma

Los coeficientes de forma dan una aproximación matemática de la forma del barco, para ello estimaremos los valores hidrostáticos del buque ayudándonos con el software Maxsurf.

Estos valores serán calculados en varias líneas de agua, que van desde la línea de flotación a plena carga hasta la línea de flotación de peso en rosca o ligero:

El *coeficiente prismático* (C_p) es uno de los coeficientes más importantes utilizados para determinar la forma general del casco. El coeficiente prismático evalúa la “gordura” o “finura” de los extremos de los cascos. Es la relación entre el volumen desplazado y un bloque cuyo volumen es igual a la longitud de la línea de flotación, multiplicada por el área máxima transversal de la parte sumergida del casco.

$$C_p = 0,78$$

A diferencia del Coeficiente Prismático, *el coeficiente de bloque* (C_b) no está limitado por la forma de la sección transversal del casco, compara el volumen total desplazado por la embarcación con el volumen del bloque formado eslora, manga y calado en la línea de flotación. Si dicho volumen desplazado del casco llenaría todo el bloque mencionado, el C_b sería igual a 1.

$$C_b = 0,438$$

El *coeficiente medio* (C_m) se define como la relación de la sección transversal máxima del volumen de desplazamiento del casco dividido por el área rectangular formada por la manga en el plano de flotación (BWL) y Calado. Cuanto mayor sea el C_m más rectangular. El compromiso aquí es tener la mayor área con el menor perímetro posible y la estabilidad de la embarcación.

$$C_m = 0,683$$

2.2.2 Estimación de pesos – cálculo del centro de gravedad

Una vez obtenido el desplazamiento aproximado, se debe predecir donde se va a encontrar el centro de gravedad de la embarcación.

Al ser una embarcación de poca eslora, una pequeña variación de este centro de gravedad afectará notablemente en la estabilidad y confort final. Si por ejemplo el centro de gravedad se encuentra muy atrasado, la embarcación hundirá la popa sufriendo así un incremento muy grande en la resistencia al avance. Dentro de los elementos no estructurales debemos tener a disposición equipos de seguridad que la embarcación debe llevar a bordo según la zona de navegación estipulada, en nuestro caso de categoría “C – aguas costeras” [5], en esta categoría es necesario llevar el siguiente material:

- 1 botiquín de primeros auxilios con: Tiras protectoras adhesivas para heridas (modelo grande), tiras protectoras adhesivas para heridas (modelo pequeño), antiséptico local, crema contra las quemaduras, venda de 5 cm de ancho y 1 frasco colirio antiinflamatorio.
- Material náutico: una bocina de niebla, pabellón nacional, código de señales, espejo de señales, remos y dispositivos de boga, compás de gobierno, prismáticos, campana, linterna estanca y reflector radar.
- Transmisor-Receptor de VHF o VHF portátil.
- Son necesarias las señales de socorro, 6 bengalas de mano, 6 cohetes luz roja y cohetes con paracaídas y una señal fumígena flotante.
- Son necesarios los equipos de salvamento como son los chalecos salvavidas

Seguidamente se definen todos los elementos estructurales y no estructurales de la embarcación mediante el centro de sus coordenadas en los tres ejes dimensionales. Además, con la ayuda del programa Rhinoceros, se realiza una estimación de pesos y se deduce los momentos y el centro de gravedad a máxima carga.

Tabla 3. Resultado estimación de pesos a máxima carga

	PESO TOTAL (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	MX (kg*m)	MY (kg*m)	MZ (kg*m)
TIMÓN COMPLETO	2	1,47191	0,03682	0,8914	2,94382	0,07364	1,7828
CONSOLA CENTRAL	3	1,89997	-0,0247	0,43865	5,69991	-0,0741	1,31595
BANCOS PASAJEROS	5	4,39732	-0,00917	0,46628	21,9866	-0,04585	2,3314
BANCO TRASERO	1,5	0,59018	0	0,35206	0,88527	0	0,52809
ASIENTO TRASERO	2,5	0,68137	0,04264	0,60564	1,703425	0,1066	1,5141
CORNAMUSAS	2,1	3,1825	0	0,25528	6,68325	0	0,536088
ANCLA CON CADENA	6	4,39732	-0,00917	0,46628	26,38392	-0,05502	2,79768
EQUIPOS DE SEGURIDAD	3	3,1825	0	0,25528	9,5475	0	0,76584
BOMBA ACHIQUE AUTOMATICA	2	0,77623	-0,024	0,37851	1,55246	-0,048	0,75702
LUCES DE NAVEGACIÓN	0,6	3,1825	0	0,25528	1,9095	0	0,153168

ENCHUFES	0,3	3,1825	0	0,25528	0,95475	0	0,076584
MOTOR	61,3	-0,07495	0,00688	-0,00718	-4,594435	0,421744	-0,440134
BATERIAS	161,76	-0,65501	0,00907	-0,454	-105,95442	1,4671632	-73,43904
SOPORTES PANELES	20	2,6395	-0,00183	2,00425	52,79	-0,0366	40,085
PANELES SOLARES	148	2,6395	-0,00183	2,00425	390,646	-0,27084	296,629
PERSONAS	750	3,1825	0	0,25528	2386,875	0	191,46
CASCO	470	3,1825	0	0,25528	1495,775	0	119,9816
TOTAL =	1639,06	37,85834	0,02471	8,67782	4295,78755	1,5387372	586,835146

A partir de los datos de la *Tabla 3* con la embarcación a máxima carga, podemos encontrar el desplazamiento y la posición del centro de gravedad en dicha condición:

$\Delta m_{\text{máx}} = 1639,06 \text{ Kg.}$

Centro de gravedad longitudinal respecto el espejo de popa: $CX = 2,621$

Centro de gravedad transversal: $CY = 0,00093$

Centro de gravedad vertical: $CZ = 0,358$

2.3 Sistema propulsivo

Los motores eléctricos se han planteado e implantado en la mayoría de vehículos como alternativa de los motores de combustión interna. Es uno de los puntales para promover el cambio tecnológico, ya que se trata de un sistema motriz que tiene la capacidad de dar par desde la primera revolución sin emitir ningún residuo. Otra ventaja que brinda este tipo de motor, es la oportunidad de usar energías renovables como la solar y la eólica, para la generación de electricidad que se requeriría para la carga de las baterías para la posterior propulsión de la embarcación y utilización en los servicios auxiliares como los aparatos electrónicos de navegación. Además de las ventajas que ofrecen este tipo de motores, hay intereses políticos de los estados desarrollados, pretendiendo evitar la dependencia con otros países, ante la crisis energética inminente.

2.3.1 Resistencia al avance

La finalidad de este apartado es encontrar la estimación del valor de la resistencia al avance. Este valor nos ayudará a determinar la potencia máxima y proporcionar un dato fiable para el dimensionamiento del sistema de propulsión.

Para entender el estudio de la resistencia al avance debemos tener en cuenta que, si partimos de la embarcación en reposo con su calado inicial, cuando ésta empieza a avanzar, una pequeña parte de la obra muerta se hunde, lo cual afecta al volumen sumergido y a la posición del centro de carena. La

resistencia aumenta debido a mayor superficie mojada. A medida que la velocidad va aumentando, empieza a aparecer el efecto de empuje hidrodinámico. La aparición de estas fuerzas hidrodinámicas corrige el trimado de la embarcación, entonces el centro de carena vuelve a cambiar su posición respecto a la superficie del mar y la superficie mojada del casco se reduce considerablemente comportando una reducción de la resistencia al avance [6].

La resistencia al avance depende de fenómenos viscosos y gravitatorios, así variará en función de los números adimensionales de Reynolds y de Froude:

El Número de Reynolds está relacionado con la resistencia viscosa. Esta resistencia se puede descomponer en dos componentes: la resistencia por fricción y la resistencia de presión por fricción.

$$Rn = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad \text{Ecuación 1. Número de Reynolds}$$

Donde,

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

V = Velocidad de flujo (m/s)

L = Eslora (m)

μ = viscosidad dinámica del fluido ($Pa \cdot s$)

Definimos la resistencia por fricción aquella que se produce de la fricción del agua con la superficie del casco. Esto es debido a que el agua no se desliza sobre el casco, sino que una delgada capa de fluido se mantiene adherida arrastrando a otra capa debido a la viscosidad del fluido. No son solidarias, es decir, la segunda capa, que será arrastrada por la primera que se encuentra adherida al casco, va a desplazarse más lentamente. Así sucederá hasta llegar a una capa suficientemente alejada del casco en la que el movimiento del casco ya no influye en el agua.

A causa de fenómenos viscosos se produce un desequilibrio en las presiones que actúan sobre el casco, que así generan la resistencia de presión por fricción. Esta componente se puede reducir con un diseño adecuado de las formas del casco, habitualmente limitando las curvaturas de las líneas de agua del casco, así como el ángulo de entrada del agua en la línea de flotación. El coeficiente prismático influye en la resistencia viscosa indicando como de llenas son las formas del buque, cuanto mayor es su valor más llenas son las formas del casco, especialmente las de popa.

Por otro lado, el Número adimensional de Froude, o *Froude number* (F_n), corresponde a la resistencia por formación de olas.

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad \text{Ecuación 2. Número de Froude}$$

Donde,

g = Gravedad (N/kg)

A medida que la embarcación aumenta de velocidad genera mayor amplitud y longitud de olas. Si la embarcación navega a velocidades bajas, las olas que genera son de muy baja amplitud, entonces, se puede considerar que prácticamente toda la resistencia al avance que experimentará dicha embarcación será de origen viscoso. Puede ser que las olas interfieran entre ellas de manera destructiva o de manera constructiva. Si las olas interfieren constructivamente, esto va a implicar que las dos crestas de ola se sumarán, generando una ola de mayores dimensiones que produce un aumento en la resistencia por formación de olas. Por lo contrario, si las olas interfieren destructivamente, la resistencia al avance por

formación de olas va a ser mínima ya que coincide la cresta de una ola con el seno de la otra. El fenómeno de la interferencia de los trenes de olas es de suma importancia en el comportamiento de este tipo de resistencia al avance.

La resistencia por formación de olas no se puede calcular de manera experimental, por este motivo en su lugar se habla de la resistencia residual que engloba la resistencia por formación de olas y la resistencia de presión por fricción con el resto de componentes.

El Número de Froude está relacionado directamente con la velocidad de la embarcación y su eslora, nos da una idea del tipo de casco que tenemos, si es de desplazamiento, semi-desplazamiento o planeo. Se considera:

- Desplazamiento: Las embarcaciones con un $F_n < 0,6$. La Hidrodinámica es casi insignificante y, las fuerzas de sustentación que actúan son mayoritariamente fuerzas hidrostáticas. Este tipo de embarcaciones se caracteriza por disminuir su centro de gravedad vertical a medida que va aumentando la velocidad hasta llegar al punto posicional menor.
- Semi-desplazamiento: Aquellas embarcaciones con un $0,6 < F_n < 1,3$. Las fuerzas hidrodinámicas empiezan a tener un papel más importante y el centro de gravedad vertical va aumentando con la velocidad.
- Planeo: Aquellas embarcaciones con un $F_n > 1,3$. En este caso, las fuerzas de sustentación, las fuerzas hidrodinámicas, son muy importantes y van ganando valor a medida que el F_n aumente. Como en el caso de Semi-desplazamiento, también va aumentando el centro de gravedad vertical con la velocidad.

Teniendo en cuenta una velocidad máxima de la embarcación es de 7,5 nudos, nuestra embarcación con un Número de Froude de 0,4758 se define como de desplazamiento.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{7.5 \cdot 0.5144}{\sqrt{9.81 \cdot 6.7}} = 0,4758$$

Para el cálculo de la resistencia al avance existe la opción de escalar el buque y llevar a cabo ensayos en un canal de experiencias o utilizar programas informáticos que implementan métodos estadísticos y fluido dinámico. La desventaja de elaborar el modelo a escala y realizar las pruebas hidrodinámicas en los canales de experiencias del prototipo diseñado es que, al concluir dichas pruebas se presenta una dificultad considerable al escalar los resultados del modelo al buque en tamaño real. Para evitar dichas dificultades se deben cumplir una serie de semejanzas geométricas, dinámicas, cinéticas...

Por lo tanto, podemos desglosar la resistencia al avance como:

$$Resistencia\ al\ avance = (R.\ Fricción + R.\ Presión) + R.\ Formación\ de\ olas$$

Existen programas informáticos específicos que tienen implementados distintos métodos estadísticos que proporcionan el cálculo del valor de la resistencia al avance del buque a distintas velocidades de navegación, de forma rápida y con un margen de exactitud aceptable.

Introduciendo el modelo creado en el módulo de Maxsurf Resistance se procede a la estimación de la resistencia al avance mediante los diferentes métodos disponibles en el programa. El módulo Resistance tiene implementados los siguientes métodos estadísticos para buques de desplazamiento como son:

- Holtrop
- Van Ootmerssen
- Series 60

- Compton Fung
- KR Barge Resistance

Tabla 4. Resultados de la resistencia al avance de la embarcación sometida a distintos métodos estadísticos

	Item	Value	Units	Holtrop	Van Oortmerss	Delft I,II Sail	Compton	Fung
1	LWL	6,088	m	6,088 (low)	6,088 (low)	6,088 (low)	6,088 (low)	6,088
2	Beam	1,727	m	1,727 (high)	1,727 (high)	1,727	1,727 (high)	1,727
3	Draft	0,347	m	0,347 (low)	0,347 (high)	0,347	0,347	0,347
4	Displaced volume	1,599	m ³	1,599	1,599	1,599	1,599 (high)	1,599
5	Wetted area	9,952	m ²	9,952	9,952	9,952	9,952	9,952
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,78		0,78	0,78 (high)	0,78 (high)	--	0,78 (high)
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,83		0,83	--	0,83	--	--
8	1/2 angle of entrance	24,9	deg.	24,9	24,9	--	--	24,9 (high)
9	LCG from midships(+ve f	-0,602	m	-0,602	-0,602 (low)	-0,602 (low)	-0,602	--
10	Transom area	0,056	m ²	0,056	--	--	--	0,056
11	Transom wl beam	0	m	--	--	--	--	0
12	Transom draft	0,22	m	--	--	--	--	0,22
13	Max sectional area	0,337	m ²	--	0,337 (low)	--	--	0,337
14	Bulb transverse area	0	m ²	0	--	--	--	0
15	Bulb height from keel	0	m	0	--	--	--	--
16	Draft at FP	0,22	m	0,22	--	--	--	--
17	Deadrise at 50% LWL	14	deg.	--	--	--	--	--
18	Hard chine or Round bilg	Hard chine		--	--	--	Hard chine	--
19								
20	Frontal Area	0	m ²					
21	Headwind	0	kn					
22	Drag Coefficient	0						
23	Air density	0,001	tonne/					
24	Appendage Area	0	m ²					
25	Nominal App. length	0	m					
26	Appendage Factor	1						
27								
28	Correlation allowance	0,0004		Calculated by method	0,0004		0,0004	Fixed at 0.0005
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s					
30	Water Density	1,0259	tonne/					

Si observamos en la Tabla 4 de los resultados de los diferentes métodos estadísticos, se observa que la embarcación no cumple con todos los parámetros de la mayoría de métodos, ya que como se puede apreciar para todos los métodos los valores aparecen resaltados y con un indicativo (low [Rojo] o high [Naranja]) para indicar si está fuera de rango. Aun así, buscaremos el método estadístico implementado en el programa más adecuado para las características hidrostáticas de la embarcación que se está estudiando. Además, se añade el método Delft I, II Sail que no es para embarcaciones de desplazamiento, pero nos ayudará al análisis de la resistencia al avance.

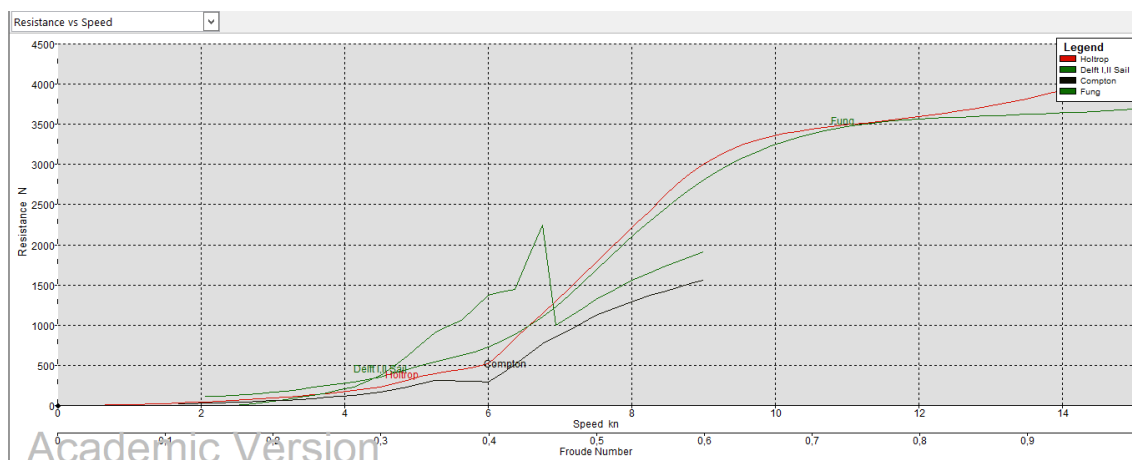


Imagen 11. Gráfica de la resistencia al avance según los métodos seleccionados

Si nos disponemos a analizar la Tabla 4 y la imagen 11 podemos observar que a una velocidad de 7,5 nudos (Kn) y con un número de Froude de 0,4758 la resistencia según el método de series Delft I, II Sail sufre una disminución de la resistencia al avance, esto es debido a que por las formas planas del modelo a esa velocidad entra en semi-planeo. En la Universidad Tecnológica de Delft se realizaron los ensayos de Delft Systematic Yacht Hull Series (DSYHS) con diferentes modelos de veleros en los que se registró su geometría junto a los resultados obtenidos.

Aun así, al tratar realmente de una embarcación de desplazamiento utilizaremos como método empírico el método de Holtrop. Se basa en una serie de ecuaciones de regresión realizadas a partir de los resultados de ensayos con modelos no relacionados entre sí, por una variación sistemática de sus características. Holtrop, era un investigador del canal de Wageningen (Holanda) que utilizó la base de datos de todos los parámetros geométricos de los modelos ensayados y los resultados de los ensayos e introdujo estos datos en un programa estadístico de correlaciones múltiples cruzadas. Probó regresiones tomando diferentes grupos de parámetros para poder obtener las curvas con el menor error posible.

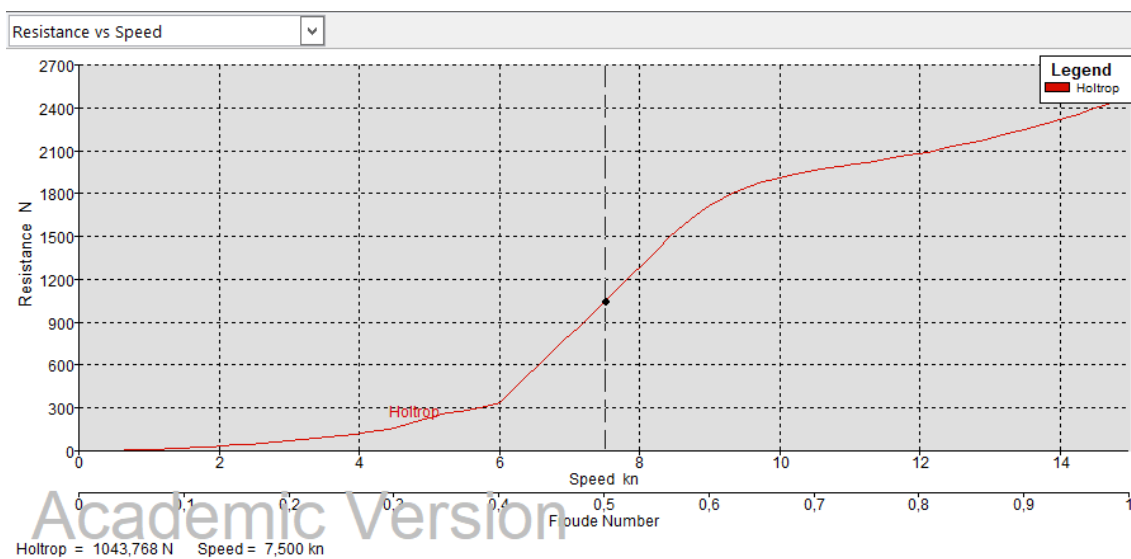


Imagen 12. Gráfica de la resistencia al avance a partir del método de Holtrop

En la gráfica de la imagen 12 se puede observar la relación que existe entre la velocidad medida en nudos en el eje de abscisas y la resistencia al avance del buque medida en Newtons en el eje de ordenadas según el método de Holtrop, hallando una resistencia de 1043,768N para una velocidad de servicio de 7,5 nudos.

2.3.2 Potencia

Para hallar la potencia propulsora se debe de hallar previamente la potencia efectiva y el rendimiento propulsivo. La potencia efectiva la hallaremos siguiendo el método de Holtrop utilizado previamente. Observando la Tabla 5 apreciamos la relación que existe entre las velocidades medidas en nudos (kn), la resistencia en Newtons (N) y la potencia en kilovatios (kW). Para una velocidad de $V_s = 7,5$ Kn le corresponde una potencia efectiva de $P_E = 4,027$ kW = 5,4003 HP (ver Tabla 5).

Tabla 5. Resistencia al avance y potencia en función de la velocidad

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (N)	Holtrop Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	--	--
2	0,375	0,025	0,058	1,55	0,000
3	0,750	0,050	0,118	5,50	0,002
4	1,125	0,075	0,174	11,52	0,007
5	1,500	0,100	0,232	19,43	0,015
6	1,875	0,125	0,290	29,09	0,028
7	2,250	0,150	0,348	40,39	0,047
8	2,625	0,175	0,408	53,37	0,072
9	3,000	0,200	0,465	68,32	0,105
10	3,375	0,225	0,523	85,86	0,149
11	3,750	0,250	0,581	107,18	0,207
12	4,125	0,275	0,639	132,33	0,281
13	4,500	0,300	0,697	164,25	0,380
14	4,875	0,325	0,755	214,42	0,538
15	5,250	0,350	0,813	262,14	0,708
16	5,625	0,375	0,871	334,57	0,852
17	6,000	0,401	0,929	339,96	1,049
18	6,375	0,426	0,987	513,85	1,685
19	6,750	0,451	1,045	689,12	2,393
20	7,125	0,476	1,103	865,77	3,173
21	7,500	0,501	1,161	1043,77	4,027
22	7,875	0,526	1,219	1223,12	4,955
23	8,250	0,551	1,277	1404,27	5,960
24	8,625	0,576	1,335	1580,41	7,012
25	9,000	0,601	1,394	1714,97	7,940
26	9,375	0,626	1,452	1811,53	8,737
27	9,750	0,651	1,510	1878,74	9,423
28	10,125	0,676	1,568	1926,12	10,033
29	10,500	0,701	1,626	1961,78	10,597
30	10,875	0,726	1,684	1991,80	11,143
31	11,250	0,751	1,742	2020,32	11,693
32	11,625	0,776	1,800	2050,02	12,260
33	12,000	0,801	1,858	2082,45	12,856
34	12,375	0,826	1,916	2118,47	13,487
35	12,750	0,851	1,974	2158,45	14,158
36	13,125	0,876	2,032	2202,50	14,871
37	13,500	0,901	2,090	2250,55	15,630
38	13,875	0,926	2,148	2302,42	16,435

Teniendo en cuenta el cálculo de la potencia propulsora del motor propulsor [6]

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_p} \quad \text{Ecuación 3. Potencia al freno}$$

$$\eta_p = \eta_H * \eta_M * \eta_O * \eta_R \quad \text{Ecuación 4. Rendimiento propulsivo}$$

Donde,

P_B = Potencia del motor propulsor o al freno, BHP (Brake Horse Power)

P_E = Potencia de remolque o efectiva EHP (Effective Horse Power), potencia necesaria para vencer la resistencia total de la carena a una determinada velocidad.

η_p = Rendimiento propulsivo

η_H = Rendimiento del casco

η_M = Rendimiento mecánico línea de ejes

η_O = Rendimiento del propulsor aislado

η_R = Rendimiento rotativo relativo

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w} \quad \text{Ecuación 5. Rendimiento del casco}$$

Donde;

t = variación del empuje. Para esta embarcación, que dispone de una sola hélice, el valor se encuentra entre 0,12 - 0,3, por lo que optamos por tomar un valor aproximado de 0,2.

w = coeficiente de estela. Para buques de una sola hélice oscila entre 0,25 - 0,45, por lo tanto, se tomará un valor aproximado de 0,35.

Para η_M se tomará un valor de 0,98, que es el valor estimado.

El η_O suele variar entre 0,60 y 0,75, el valor aproximado en este caso se estima en 0,7.

η_R se encuentra en un intervalo de entre 1 y 1,07, por lo tanto se tomará un valor intermedio aproximado de 1,04.

Una vez determinados los rendimientos, previamente al cálculo del rendimiento propulsivo, se calcula el rendimiento del casco η_H .

$$\eta_H = \frac{1 - 0,21}{1 - 0,35} = 1,21$$

$$\eta_p = 1,21 * 0,98 * 0,7 * 1,04 = 0,86$$

Con el debido cálculo de los coeficientes anteriores,

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_p} = \frac{5,4003}{0,86} = 6,27942 \text{ HP}$$

A esta potencia obtenida se añadirá un margen de mar del 15% y un margen de motor del 85% del MCR (Maximum Continuous Rate).

Por lo tanto, la potencia final del motor propulsor necesaria es de:

$$BHP = \frac{P_E}{\eta_p * MCR} * \text{Margen de mar} = \frac{5,4003}{0,86 * 0,85} * 1,15 = 8,49568 \text{ HP} = 6,34 \text{ kW}$$

Ecuación 6. Potencial final del motor

2.3.3 Motor eléctrico

Como se muestra en el apartado anterior, según los cálculos de potencia es necesario un motor que entregue al menos 6,34 kW de potencia. Para conseguir una velocidad de servicio de 7,5 nudos, el motor Torqeedo Cruise 10.0S L instalado actualmente será el adecuado. A continuación, gracias a la información del fabricante, se muestran las características principales del motor instalado en la embarcación actual.

Descripción del producto:

- 12 kW de potencia máxima, 10 kW de potencia continua, potente empuje equiparable a un motor de combustión de 20 CV
- Ordenador de a bordo inteligente y todo el confort de un motor eléctrico Torqeedo
- Sistema basculante eléctrico para un manejo fácil
- Fácil instalación gracias al bajo voltaje de esta versión (48 voltios)
- Diseño muy resistente: protegido contra la corrosión, apto para el agua de mar y totalmente estanco al agua (IP67)
- Diseño plano, elegante y moderno
- Eje largo L 51,2 cm de longitud del eje
- Peso: 61,3 kg (L)



*Imagen 13. Motor fueraborda Torqeedo Crusie 10.0
RL. Fuente: Catálogo de productos Torqeedo*

Características técnicas:

Consumo en vatios	10.000
Potencia de propulsión de vatios	5.600
Fueraborda equivalente de gasolina (potencia de propulsión)	20 CV
Fueraborda equivalente de gasolina (empuje)	25 CV
Eficiencia global máxima en %	56
Tensión nominal en voltios	48
Peso total en kg	61,3
Longitud de la caña en cm	51,2
Hélice estándar	v22/p10k
v = velocidad en km/h con p = potencia en vatios)	
Número de revoluciones de la hélice a plena carga en rpm/min	1.400
Mando	Palanca de acelerador
Sistema basculante	Sistema electrohidráulico de inclinación con protección contra sobrecarga /
Inclinación ángulo	+45°

Sistema de trimado	manualmente a 4 niveles
Ordenador de a bordo integrado	Sí
Marcha adelante/atrás regulables sin graduación	Sí

2.3.4 Baterías

Las baterías eléctricas son un dispositivo electrónico que funciona como almacén de energía eléctrica, también nombrados acumuladores eléctricos. Almacenan energía eléctrica mediante procedimientos electrónicos y posteriormente la devuelven casi en su totalidad. Al tratarse de un generador eléctrico secundario no puede funcionar si previamente no le ha sido suministrada electricidad mediante un proceso de carga.

Esta embarcación estará propulsada por un motor que será alimentado con pack de baterías de Litio recubiertas por una carcasa de Aluminio detallados en la ficha técnica del Anexo 1. Información Eboat Panamá. Las baterías están formadas por un total de 96 células, 2 bloques que forman el total de 16 packs en serie de 6 células conectadas en paralelo. Cada célula es de 3,2v y 60 Ah, destinados al encendido del motor de combustión, mantener la bomba de achique automática y el equipo de iluminación en servicio.

Tabla 6. Características principales de las baterías ZGnewenergy

MARCA	ZGnewenergy CO., Ltd (China)
TIPO	Batería LiFePO4
CAPACIDAD	360Ah / 51.2v / 18
PESO	161,76 kg

2.3.5 Placas solares

Para garantizar un sistema autónomo, se instalan placas fotovoltaicas. Los componentes que determinaran un funcionamiento correcto y fiable son las placas solares, los acumuladores eléctricos (baterías), el regulador de carga y un inversor. Si las placas solares estuvieran conectadas a la red eléctrica no necesitarían acumuladores, ya que no necesitaríamos almacenar energía. En nuestro caso, estas van conectadas a un controlador. Este mismo controlador es el encargado de distribuir la energía según si las baterías estén cargadas o no, es decir, si las baterías están completamente cargadas la energía va dirigida a la alimentación del motor, una vez se empiece a descargar alguna de las dos baterías la energía procedente de las placas solares se envía hacia la carga de las baterías. Además, el controlador o regulador de carga protege a los acumuladores de sobrecargas y descargas no deseadas.

Teniendo en cuenta que el sistema de generación, gestión y aplicación de energía que proporcionan la fuerza motriz que requiere la embarcación es complejo, podemos resumirlo en la Imagen 14.

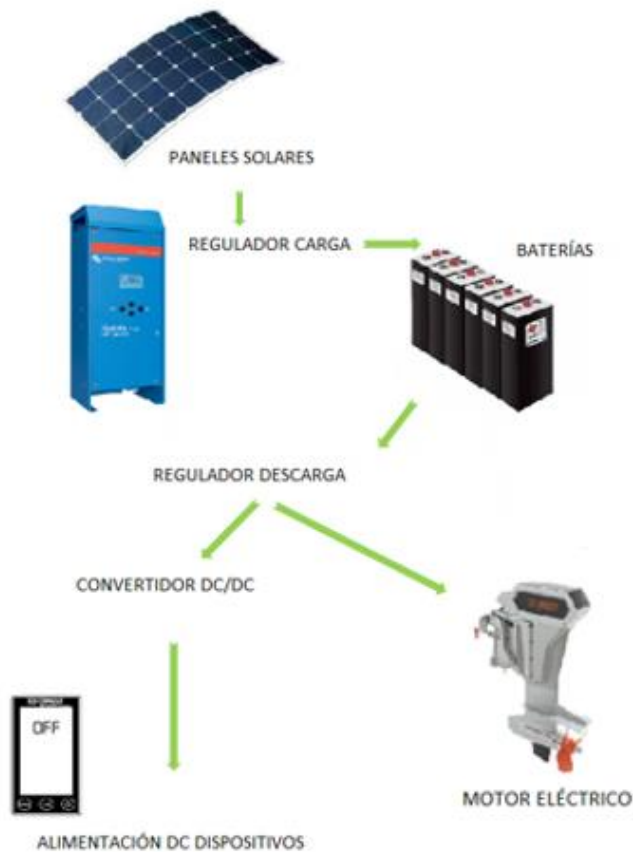



Imagen 14. Esquema sistema generación energía eléctrica. Elaboración propia.

En el caso específico de la embarcación se cuenta con un techo solar de 8 placas de 250W sujetas con soporte en la parte superior de la embarcación. El área de captación del techo solar será de unos 13,01 m².

Área de captación = 1984mm x 6560 mm = 13,01504 m² Ecuación 7. Área de captación

El área del techo solar viene determinada por las dimensiones de la embarcación, en concreto las de su cubierta; siendo aproximadamente las medidas que se tienen en cuenta para construir el techo de la embarcación, el lugar donde van instalados los paneles fotovoltaicos. Además, para afirmar que estamos utilizando los debidos modelos, debemos tener en cuenta que si el banco de baterías trabaja a una tensión nominal de 51,2 Voltios se requieren paneles que aporten un voltaje superior. Cada una de las placas puede suministrar un máximo de 30,1 V.

Tabla 7. Características principales placa solar ReneSola Módulo Virtus II. Elaboración propia.

MARCA Y MODELO		<div><div><div>ReneSola</div><div>Módulo Virtus® II</div><div>250W, 255W, 260W</div></div><div><div>Virtus® II</div></div></div>
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Potencia máxima (Pmax, W)	255	
Tensión a potencia máxima (Vmpp, V)	30,4	
Corriente a potencia máxima (Impp, A)	8,39	
Tensión en circuito abierto (Voc, V)	37,5	
Corriente de cortocircuito (Isc, A)	8,86	
Eficiencia del módulo (%)	15,8 - 16,0%	
Medidas		
Longitud (mm)	1640	
Ancho (mm)	992	
Altura (mm)	40	
Peso (kg)	18,5	
Precio módulo (€)	242,5	
Área placa (m²)	162,688	
Área captación (m²)	1301,504	
Total placas (u)	8	
Total precio (€)	1940	
Total peso (kg)	148	

2.4 Estudio Estabilidad

Para poder realizar un estudio del comportamiento estático de la embarcación, se definirán dos condiciones de carga o desplazamiento; la primera condición en rosca y la segunda condición de máxima carga.

Es de vital importancia cumplir en cada condición de carga las exigencias de homologación propuestas por la normativa UNE-EN ISO 12217-1:2017 Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m. (ISO 12217-1:2015) [5].

Previamente debemos tener en cuenta la curva de estabilidad estática, donde se puede observar el valor máximo del brazo adrizante en función de las escoras y el ángulo en el que se produce. Por ello, analizaremos que se cumplan los criterios según la normativa mencionada anteriormente.

- El brazo de estabilidad estática (GZ) en 30 grados debe ser mayor a 0,2 m.
- La escora debida a la acción del viento debe ser menor a 5 grados.

2.4.1 Condición de desplazamiento en rosca

Según la Norma ISO 12217-1:201, referente a la evaluación de la estabilidad y flotabilidad, queda definida la condición de la embarcación en rosca como: “ Embarcación en la condición de vacío más el equipo estándar (elementos que comprenden los motores fuera-borda, muebles y elementos de mobiliario no fijos, el material portátil como anclas, cadenas..., el equipo exterior móvil, tales como defensas, remos... y el equipo esencial de seguridad) cuando se han suministrado o previsto por el conductor para llevarse a bordo cuando la embarcación se encuentra navegando.”

Desplazamiento	889,060	Kg
MX	1908,913	Kg·m
MY	395,375	Kg·m
CDG X	2,147	m
CDG Y	0	m
CDG Z	0,445	m

La evaluación se realizará mediante “Maxsurf Stability”, programa dedicado a la evaluación de la estabilidad, el cual permite el estudio del comportamiento de la embarcación en diversas situaciones de carga.

La tabla siguiente muestra los resultados evaluados con Maxsurf Stability en esta condición de carga:

Draft Amidships m	0,117
Displacement t	0,8891
Heel deg	0,1
Draft at FP m	0,054
Draft at AP m	0,18
Draft at LCF m	0,134
Trim (+ve by stern) m	0,126
WL Length m	5,791
Beam max extents on WL m	1,697
Wetted Area m²	8,106

Waterpl. Area m ²	7,498
Prismatic coeff. (Cp)	0,651
Block coeff. (Cb)	0,408
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,751
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,763
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,14
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,307
KB m	0,068
KG m	0,444
BMt m	1,695
BML m	17,388
GMt corrected m	1,318
GML m	17,012
KMt m	1,763
KML m	17,453
Immersion (TPc) tonne/cm	0,077
MTc tonne.m	0,024
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,02
Max deck inclination deg	1,1589
Trim angle (+ve by stern) deg	1,156

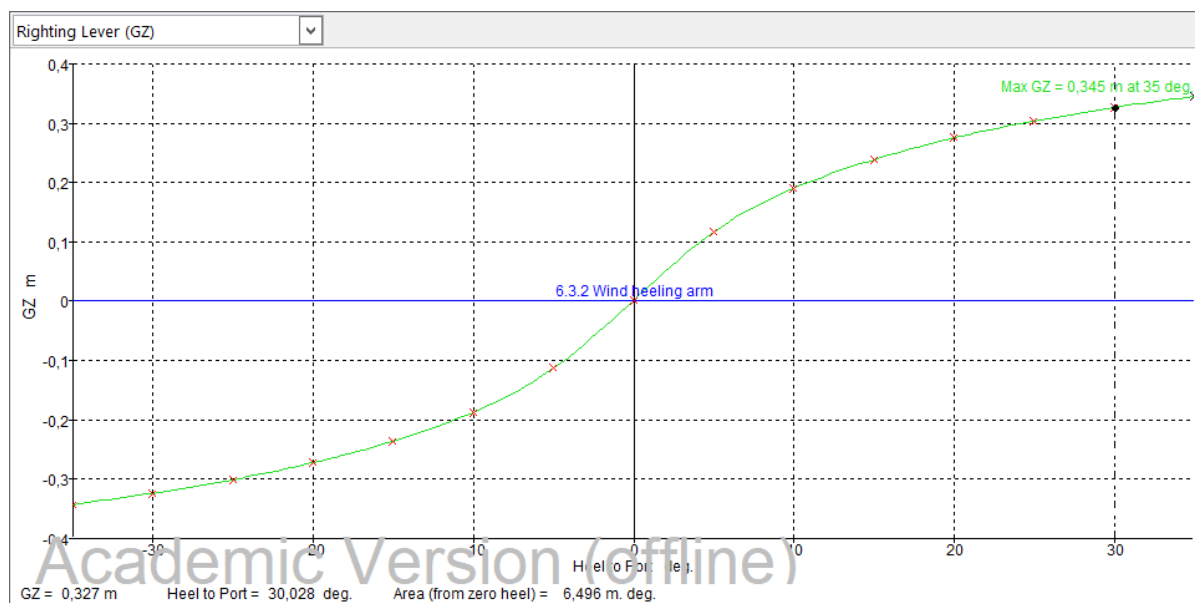


Imagen 15. Curva de estabilidad estática para desplazamiento en rosca

Tabla 8. Verificación criterios estabilidad para desplazamiento en rosca

Large Angle Stability - PESO EN ROSCA - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm					
2		$Wind\ arm = a \cdot v^2 \cdot A \cdot (h - H) / (g \cdot disp.) \cdot \cos^n(\phi)$					
3		constant: $a \cdot (0.5 \cdot \rho_{air} \cdot C_d) =$	0,0003	tonne/m ³			
4		wind velocity: $v =$	54,428	kn			
5		approx. area centroid height: $h = A/Lwl + TmidWL$	0,132	m			
6		total area: $A =$	0,000	m ²			
7		height of lateral resistance: $H =$	0,000	m			
8		cosine power: $n =$	0				
9		gust ratio	1				
10		Intermediate values					
11		Heel arm amplitude		m	0,000		
12							
13	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
14		heel angle at which required GZ is constant	30,0	deg			
15		required value of GZ at this angle is	0,200	m			
16		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
17		GZ at 30,0 deg shall be greater than (>)	0,200	m	0,327	Pass	+63,50
18		Intermediate values					
19		angle at which max. GZ occurs		deg	35,0		
20							
21	ISO 12217-1:2002(E)	6.4 Heel due to wind action (Categories C and D only)				Pass	
22		6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
23		shall be less than (<)	5,0	deg	-0,1	Pass	+101,36
24							

2.4.2 Condición de carga máxima

Según la Norma ISO 12217-1:2017, referente a la evaluación de la estabilidad y flotabilidad, queda definida la carga máxima total como: “carga máxima para la que la embarcación se diseña para llevar además de la condición de embarcación en rosca, incluyendo el máximo peso recomendado por el fabricante tal y como se define en la Norma ISO 14946, y comprendiendo todos los líquidos (por ejemplo combustibles, aceites, agua dulce agua de lastre, o tanques para cebo y pozos de peces vivos) hasta la máxima capacidad de los tanques fijos o portátiles.”

Con lo que se corresponde con las especificaciones de diseño de la embarcación, con unos valores de desplazamiento:

Desplazamiento	1639,060	Kg
MX	4295,788	Kg·m
MZ	586,835	Kg·m
CDG X	2,621	m
CDG Y	0*	m
CDG Z	0,358	m

* Aunque en el apartado 2.2.2 Estimación de pesos – cálculo del centro de gravedad se defina el CDG Y como 0,00093 se considerará 0, sin escora inicial.

Dando unos resultados evaluados con Maxsurf Stability,

Draft Amidships m	0,224
Displacement t	1,639
Heel deg	0,1
Draft at FP m	0,248
Draft at AP m	0,2
Draft at LCF m	0,22
Trim (+ve by stern) m	-0,049
WL Length m	6,118
Beam max extents on WL m	1,722
Wetted Area m^2	10,036
Waterpl. Area m^2	8,801
Prismatic coeff. (Cp)	0,775
Block coeff. (Cb)	0,419
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,659
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,836
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	2,623
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,621
KB m	0,116
KG m	0,358
BMt m	1,18
BML m	13,426
GMt corrected m	0,939
GML m	13,184
KMt m	1,296
KML m	13,542
Immersion (TPc) tonne/cm	0,09
MTc tonne.m	0,035
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,027
Max deck inclination deg	0,451
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4474

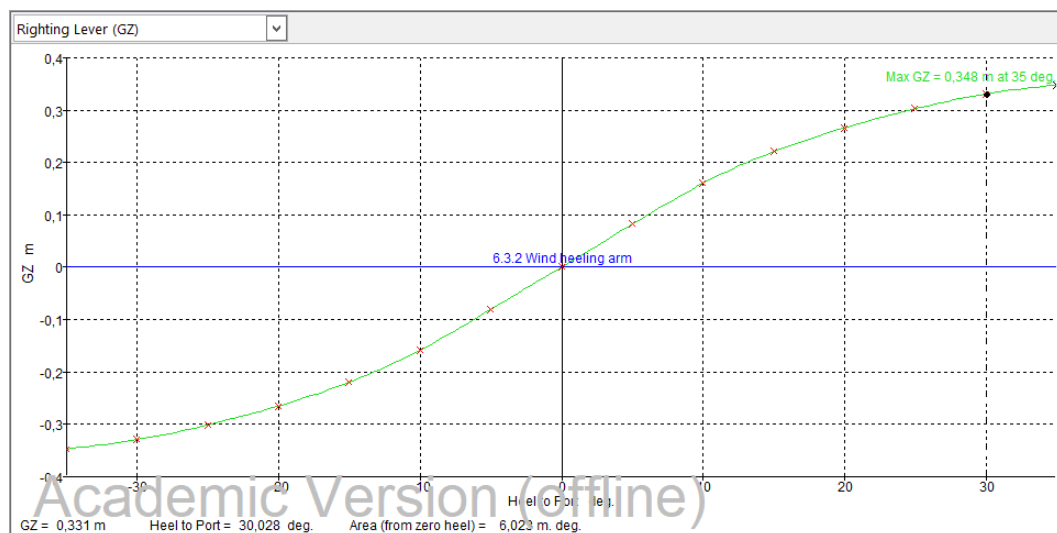


Imagen 16. Curva de estabilidad estática para máxima carga

Tabla 9. Verificación criterios estabilidad para máxima carga

Large Angle Stability - MAXIMA CARGA - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm					
2		$Wind\ arm = a \cdot v^2 \cdot A \cdot (h - H) / (g \cdot disp.) \cdot \cos^n(\phi)$					
3		constant: $a (0.5 \cdot \rho_{air} \cdot C_d) =$	0,0003	tonne/m ³			
4		wind velocity: $v =$	54,428	kn			
5		approx. area centroid height: $h = A/Lwl + TmidWL$	0,220	m			
6		total area: $A =$	0,000	m ²			
7		height of lateral resistance: $H =$	0,000	m			
8		cosine power: $n =$	0				
9		gust ratio	1				
10		Intermediate values					
11		Heel arm amplitude		m	0,000		
12							
13	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
14		heel angle at which required GZ is constant	30,0	deg			
15		required value of GZ at this angle is	0,200	m			
16		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
17		GZ at 30,0 deg shall be greater than (>)	0,200	m	0,331	Pass	+65,50
18		Intermediate values					
19		angle at which max. GZ occurs		deg	35,0		
20							
21	ISO 12217-1:2002(E)	6.4 Heel due to wind action (Categories C and D only)				Pass	
22		6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
23		shall be less than (<)	5,0	deg	-0,1	Pass	+101,14
24							

2.4.3 Evaluación de la estabilidad y flotabilidad

Para la evaluación de la estabilidad de embarcaciones no propulsadas a vela, según la *UNE-EN ISO 12217-1:2017 Pequeñas embarcaciones*, se deben cumplir todos los requisitos de alguna de las seis opciones que se definen en la Tabla 2 de la norma.

Teniendo en cuenta el capítulo 7. *Aplicaciones* de esta normativa, definido en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, determinaremos nuestra embarcación como categoría de diseño C. Además, teniendo en cuenta la cubierta parcial, también definida en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, deberemos tener en cuenta la opción 5. Por lo que la embarcación deberá cumplir con:

- Aberturas de inundación
- Ensayo de la altura de inundación
- Ensayo de compensación de cargas

Aberturas de inundación

Como define la normativa, en el apartado 6.1.1 se determina el tamaño de aberturas con posible entrada de agua a bordo.

En la presente embarcación se tendrá en cuenta el motor fueraborda y la escotilla principal de almacenaje situada a proa.

Tabla 10. Determinación de las aberturas de inundación

	Name	Long. Pos. m	Offset m	Height m	Type	Linked to	Flood from	Intact (use for intact case)	Damage (use for final damage cases)	Int'nd. (use for intermediate damage cases)	Flow into Tank when immersed
1	HUECO MOTOR	0,330	-0,003	0,010	Immersion Point	None	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	ESCOTILLA	5,170	0,000	0,390	Immersion Point	None	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ensayo de la altura de inundación

Tal y como se indica en el apartado 6.1.2 de la Normativa UNE-EN ISO 12217-1:2017, el siguiente ensayo nos sirve para verificar que disponemos de un margen suficiente de francobordo antes de que se embarque agua a bordo, en caso de máxima carga. Por ello, debemos tener en cuenta el peso de la tripulación (teniendo en cuenta un peso medio no inferior a 75 kg), todos los elementos que constituyen la carga máxima total y ubicar los puntos que podría comenzar a entrar agua por cualquier abertura inundable tal y como se describe en el apartado 6.1.1.1.

Se definen en Maxsurf distintos puntos de aberturas como se ha comentado anteriormente, en función de su estanqueidad, tamaño, posición y condiciones en navegación.

Debemos tener en cuenta que para el programa Maxsurf se dispone como criterios de Normativa la ISO 12217-1:2002(E) que daremos válida para el estudio que debemos realizar.

Tabla 11. Ensayo de la altura de inundación

Equilibrium - MAXIMA CARGA - Intact - Wave Phase 0,00							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium				Pass	
2		the angle of	Heel				
3		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	0,1	Pass	+99,43
4							

Ensayo de compensación de cargas

Para este ensayo la Norma ISO 12217-1:2017 señala en el apartado 6.2 que la embarcación dispone de suficiente estabilidad ante un movimiento de los pesos de tripulación. Determinaremos con la Tabla 4 de la normativa utilizada el ángulo de escora máximo permitido, que dependerá de la eslora de la embarcación.

$\phi 0(R)$ (Ángulo máximo de escora) = 10°

Partimos de la embarcación a máxima carga. Primero, el centro de gravedad longitudinal estará situado a 75 % de la eslora máxima de la zona de tripulación y después el centro de gravedad longitudinal estará situado al 25 % de la eslora máxima de la zona de tripulación.

Tabla 12. Ensayo de compensación de pesos en la condición del peso de la tripulación al 75% de la eslora

Equilibrium - TRIPULACIÓN AL 75% DE LA ESLORA TOTAL - Intact - Wave Phase 0,00							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium				Pass	
2		the angle of	Heel				
3		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	0,1	Pass	+99,43
4							

Tabla 13. Ensayo de compensación de pesos en la condición del peso de la tripulación al 25% de la eslora

Equilibrium - TRIPULACIÓN AL 25% DE LA ESLORA TOTAL - Intact - Wave Phase 0,00							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium				Pass	
2		the angle of	Heel				
3		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,1	Pass	+99,43
4							

Se concluye que la embarcación cumple con la normativa de estabilidad en las dos condiciones de carga consideradas.

2.5 Presupuesto

Con la ayuda del fabricante Eboat Panamá a continuación se desglosará un presupuesto que engloba de forma general todos los costes de la embarcación existente. Independientemente de todos los elementos ya definidos por Eboat Panamá incluiremos los elementos restantes que creamos necesarios con su precio correspondiente [7].

	ELEMENTO	CANTIDAD (Ud)	PRECIO (\$)	TOTAL (\$)
ESTRUCTURA/EQUIPAMIENTO DE LA EMBARCACIÓN	CASCO	1	9080,0	9080,0
	CORNAMUSAS	3	14,63	43,89
	ANCLA CON CADENA	1	100	100
	EQUIPO DE SEGURIDAD	1	52	52
	BANCOS PASAJEROS	2	200	400
	BANCO TRASERO	1	249,80	249,80
	ASIENTO TRASERO	1	92,71	92,71
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN	TIMÓN COMPLETO	1	302,67	302,67
	CONSOLA CENTRAL	1	73,83	73,83
	BOMBA ACHIQUE AUTOMATICA	1	61,88	61,88
	LUCES DE NAVEGACIÓN	3	4,1	12,32
	ENCHUFES	3	35,88	107,64
	MOTOR	1	10300	10300
EQUIPAMIENTO ENERGÉTICO	BATERIAS	2	6000	12000
	PANELES CON SOPORTES	8	666,375	5331

El total de la embarcación supondrá un coste de 37.865,23 dólares, lo que equivale a 33.653,50 euros.

3. PROPUESTAS DE MODIFICACIONES

Los capítulos anteriores han realizado el estudio preliminar de la embarcación actual, hallando la potencia necesaria para desarrollar una velocidad de 7,5 nudos. En este capítulo se proponen diferentes modificaciones en la embarcación con el objetivo de incrementar la velocidad. La velocidad de una embarcación depende principalmente de la relación entre la potencia instalada y de su resistencia al avance. Para aumentar la velocidad se puede aumentar la potencia o disminuir la resistencia. En este caso, se ha optado por la segunda opción, y la forma más sencilla de lograrlo es disminuir la superficie mojada aligerando el peso total de la embarcación, obteniendo así un menor calado y, por lo tanto, menos superficie de contacto entre el casco y el agua. Por ello plantearemos reducir el peso de los elementos más significativos como son el casco (cambio de material), las placas solares y las baterías.

3.1 Cambio de material

El estudio de los distintos posibles materiales de la embarcación analiza las propiedades mecánicas y la depreciación más rápida o más lenta de la embarcación. Existen muchos tipos de materiales para la construcción de embarcaciones, así que plantearemos distintas opciones valorando el peso, coste y calidad.

3.1.1 Tipos de materiales

Fibra de vidrio. Actualmente, para embarcaciones de pequeña eslora se recurre de forma muy habitual al uso de la fibra de vidrio. Se compone de una serie de refuerzos (fibras de vidrio) y una matriz, normalmente plásticos como poliéster o epoxy, que permiten la formación de elementos fuertes, sólidos pero flexibles. Es económico, tiene un acabado impecable permitiendo hacer cubiertas, mamparas y diferentes elementos interiores del mismo material. Si empiezan a sufrir grandes esfuerzos cíclicos, las zonas de estrés se deterioran rápidamente llegando a romperse, generando reparaciones muy caras. Los cascos de fibra también sufren mucho con la radiación ultravioleta del Sol.

Madera. La madera es un material ortótropo, según la dirección de deformación, varía su elasticidad. Un casco de madera es muy vistoso y bonito, pero debido a su caro mantenimiento cada vez hay menos cascos de madera y profesionales que los trabajen. Sin embargo, se están generando técnicas constructivas de madera con resinas epoxis que consiguen estructuras de bajo peso y costes razonables.

Aluminio. Mecánicamente es un material blando y maleable pero inadecuado como elemento estructural, por lo que se alea con otros metales permitiendo realizar sobre él operaciones de fundición, forja o extrusión. Es uno de los materiales más utilizados en la industria naval. La relación calidad / precio de una construcción de aluminio es comparable a la de una buena construcción en fibra de vidrio o incluso con una de acero inoxidable. Son totalmente inmunes al proceso de ósmosis y no hay problemas de corrientes inducidas debidos a los ánodos de sacrificio, sólo hay que poner ánodos de magnesio o de zinc. Es totalmente inerte dentro del agua marina, esto hace que el interior pueda estar cubierto por una capa de 3 a 6 centímetros de espuma de poliuretano que hará al mismo tiempo de aislante térmico y del ruido. Los cascos de aluminio son mucho más compactos que los de fibra y los diferentes elementos de la cubierta y del interior se pueden soldar directamente evitando perforaciones susceptibles de provocar pérdidas de estanqueidad. Como último detalle, hay que añadir que, con el tiempo, una embarcación de aluminio pierde poco valor de mercado, ya que se conserva muy bien y el valor de reventa es bastante alto.

Acero. El acero es el material por excelencia de los grandes barcos dada su gran dureza. Se pueden soldar los elementos de cubierta y el interior directamente sin tener que hacer agujeros que puedan comprometer la capacidad de estanque del barco. Los cascos de acero son más compactos que los de madera o los de fibra, aunque es un material que se oxida fácilmente.

Ferrocemento. Se caracteriza por los costes bajo de construcción, pero al ser sólo aplicable para el casco, la repercusión sobre el coste total de la embarcación no es muy grande. El mantenimiento es más bajo que en cascos de madera o acero y similar a los de fibra, pero mayor que en un casco de aluminio. Es un tipo de material bastante pesado y poco dúctil, en caso de una colisión, el material queda muy tocado. Este tipo de material era muy común en los años 70, pero ahora está bastante en desuso.

3.1.2 Comparativa con CES Edupack®

Teniendo en cuenta los distintos materiales definidos anteriormente que disponemos para la construcción naval, con la ayuda del programa CES Edupack se estudiarán dichos materiales en la embarcación estudiada. Considerando las dimensiones del casco de la embarcación se valora el efecto que produce cada material tanto en la capacidad de deformación, el presupuesto total y si el material permite ser reciclado o no. Estas características se analizan conjuntamente para el peso del material supuesto para la embarcación.

Tabla 14. Características principales de los materiales seleccionados. Elaboración propia.

	DENSIDAD Density [kg/m ³]	PRECIO* Price [€/kg]	AGUA SALADA Water (salt)	USOS TÍPICOS Typical uses
Aluminium 5083**	2640 - 2670	1,93 – 2,12	Aceptable	Aplicaciones marinas, automovilísticas y aeronáuticas
Aluminium 5754**	2650 - 2700	1,9 - 2,09	Aceptable	Una lámina de aleación con usos como fabricación de calderas, tuberías, equipos de oficina, construcción naval...
Epoxy SMC**	1400 - 1700	18,6 – 20,5	Excelente	Elementos estructurales ligeros en el sector aeroespacial, transporte terrestre y artículos deportivos
Glass/epoxy unidirectional**	1600 - 1950	19,4 – 27,4	Excelente	Cascos de barcos y embarcaciones, componentes de automóviles, revestimientos y accesorios en construcción
Epoxy resin (Flexibilized)**	960 - 1350	2,63 – 2,89	Excelente	Encapsular, impregnar...

Cedar (thuja plicata) (t) [cedro rojo]**	320 - 390	1,63 – 2,18	Uso limitado	Acabado interior, construcción de invernaderos, construcción de barcos y barcas, cajas, puertas...
Teak (t) [teca]**	610 - 750	5,45 – 8,73	Uso limitado	Construcción de embarcaciones, muebles (especialmente al aire libre), objetos decorativos, contrachapado decorativo.
Plywood (5 ply, beech), parallel to face layer [contrachapado]**	700 - 800	0,263 – 0,804	Uso limitado	Muebles, construcción, construcción naval, transporte y vehículos, instrumentos musicales, modelaje...
Stainless steel AISI 304**	7850 – 8060	2,71 – 2,97	Excelente	Aplicaciones arquitectónicas

**No se garantiza exactitud en los datos, son estimados.*

***Se presenta la ficha técnica en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*

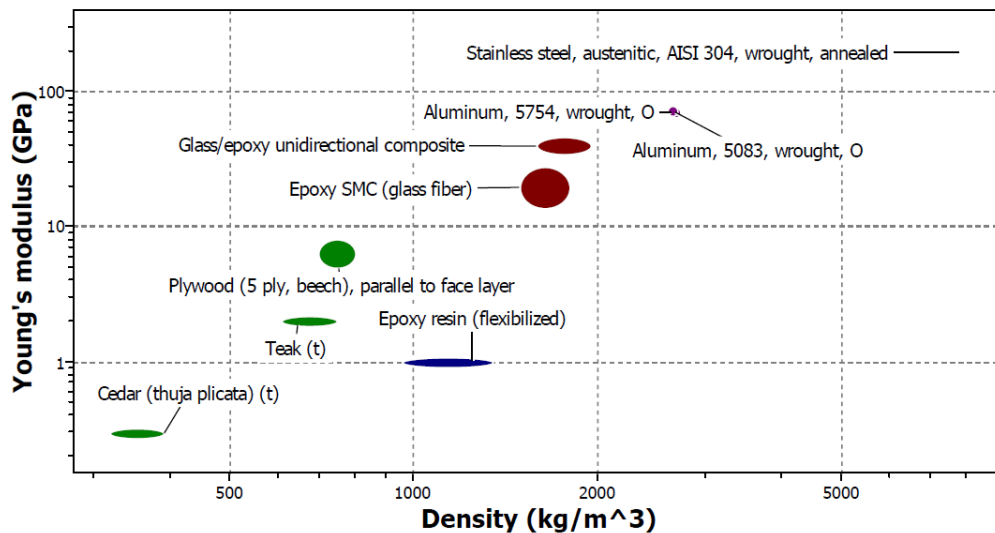


Imagen 17. Relación Módulo de Young – Densidad materiales seleccionados. CES Edupack.

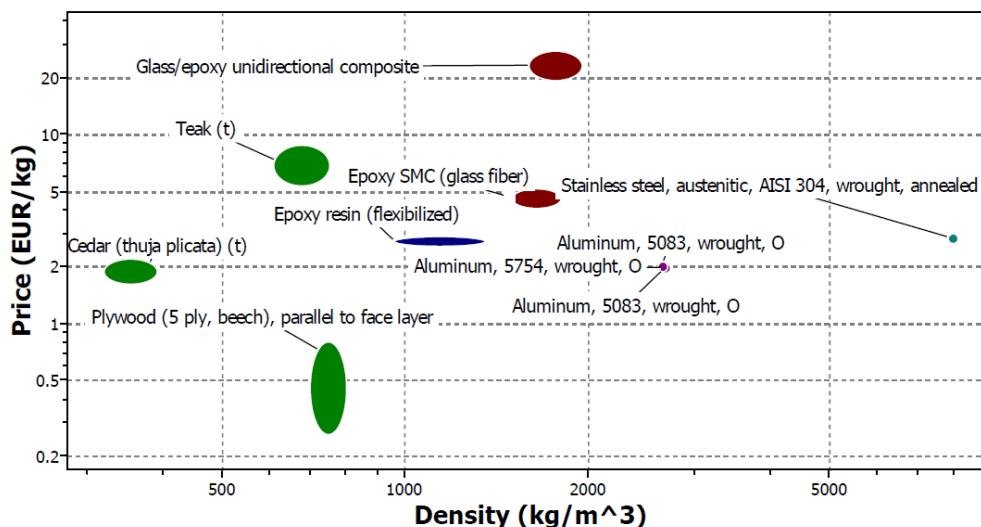


Imagen 18. Relación Precio – Densidad materiales seleccionados. CES Edupack.

Hoy en día se dispone de un gran abanico de materiales que nos permiten una amplia oportunidad de innovación. Al principio, el diseño de cualquier elemento es amplio, y se pueden tener en cuenta muchos materiales, pero a medida que queremos agudizar los criterios de selección la lista de materiales se reduce. Por ello, con ayuda del Apéndice B de “Selección de materiales en diseño mecánico de Ashby, M.F.”[8] determinaremos con exactitud los materiales que se ajustan más a nuestras necesidades.

El rendimiento de un componente se mide mediante una ecuación de rendimiento que contiene grupos de propiedades del material. Estos grupos son los índices de materiales, que serán la clave para la selección de los materiales. Los componentes tienen funciones y cada función tiene un índice de material asociado. Según estas funciones determinadas en la Tabla 15 y la Tabla 16 podremos limitar la selección del material apropiado para la embarcación. Debemos tener en cuenta que el índice de material es generalmente independiente de los detalles del diseño. Así, los índices para vigas en las tablas que siguen son independientes de la forma detallada de la viga.

Tabla 15. Rigidez – diseño limitado con mínima masa

Table B1 Stiffness-limited design at minimum mass (cost, energy, environmental impact*)

<i>Function and constraints*</i>	<i>Maximize†</i>
Tie (tensile strut)	
stiffness, length specified; section area free	E/ρ
Shaft (loaded in torsion)	
stiffness, length, shape specified; section area free	$G^{1/2}/\rho$
stiffness, length, outer radius specified; wall thickness free	G/ρ
stiffness, length, wall-thickness specified; outer radius free	$G^{1/3}/\rho$
Beam (loaded in bending)	
stiffness, length, shape specified; section area free	$E^{1/2}/\rho$
stiffness, length, height specified; width free	E/ρ
stiffness, length, width specified; height free	$E^{1/3}/\rho$
Column (compression strut, failure by elastic buckling)	
buckling load, length, shape specified; section area free	$E^{1/2}/\rho$
Panel (flat plate, loaded in bending)	
stiffness, length, width specified, thickness free	$E^{1/3}/\rho$
Plate (flat plate, compressed in-plane, buckling failure)	
collapse load, length and width specified, thickness free	$E^{1/3}/\rho$
Cylinder with internal pressure	
elastic distortion, pressure and radius specified; wall thickness free	E/ρ
Spherical shell with internal pressure	
elastic distortion, pressure and radius specified, wall thickness free	$E/(1-\nu)\rho$

*To minimize cost, use the above criteria for minimum weight, replacing density ρ by $C_m\rho$, where C_m is the material cost per kg. To minimize energy content, use the above criteria for minimum weight replacing density ρ by $q\rho$ where q is the energy content per kg. To minimize environmental impact, replace density ρ by $I_e\rho$ instead, where I_e is the eco-indicator value for the material (references [1] and [4]).

† E = Young's modulus for tension, the flexural modulus for bending or buckling; G = shear modulus; ρ = density, q = energy content/kg; I_e = eco-indicator value/kg.

Tabla 16. Daño – tolerancia de diseño

Table B5 Damage-tolerant design	
Function and constraints	Maximize*
Ties (tensile member)	
Maximize flaw tolerance and strength, load-controlled design	K_{Ic} and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, displacement-control	K_{Ic}/E and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, energy-control	K_{Ic}^2/E and σ_f
Shafts (loaded in torsion)	
Maximize flaw tolerance and strength, load-controlled design	K_{Ic} and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, displacement-control	K_{Ic}/E and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, energy-control	K_{Ic}^2/E and σ_f
Beams (loaded in bending)	
Maximize flaw tolerance and strength, load-controlled design	K_{Ic} and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, displacement-control	K_{Ic}/E and σ_f
Maximize flaw tolerance and strength, energy-control	K_{Ic}^2/E and σ_f
Pressure vessel	
Yield-before-break	K_{Ic}/σ_f
Leak-before-break	K_{Ic}^2/σ_f

* K_{Ic} = fracture toughness; E = Young's modulus; σ_f = failure strength (the yield strength for metals and ductile polymers, the tensile strength for ceramics, glasses and brittle polymers loaded in tension; the flexural strength or modulus of rupture for materials loaded in bending).

Inicialmente, teniendo en cuenta la Tabla 15 nos basaremos en seleccionar los elementos y funciones que nosotros queremos como un panel (placa plana, cargada en flexión) con rigidez, longitud, ancho especificado y sin grosor y además teniendo en cuenta la Tabla 16 se utiliza la función de depósito bajo presión que ceda antes de romperse. Con ello el abanico de materiales se reducirá. Para finalizar, se condiciona que los materiales tengan una densidad máxima y además resistan al agua salada.

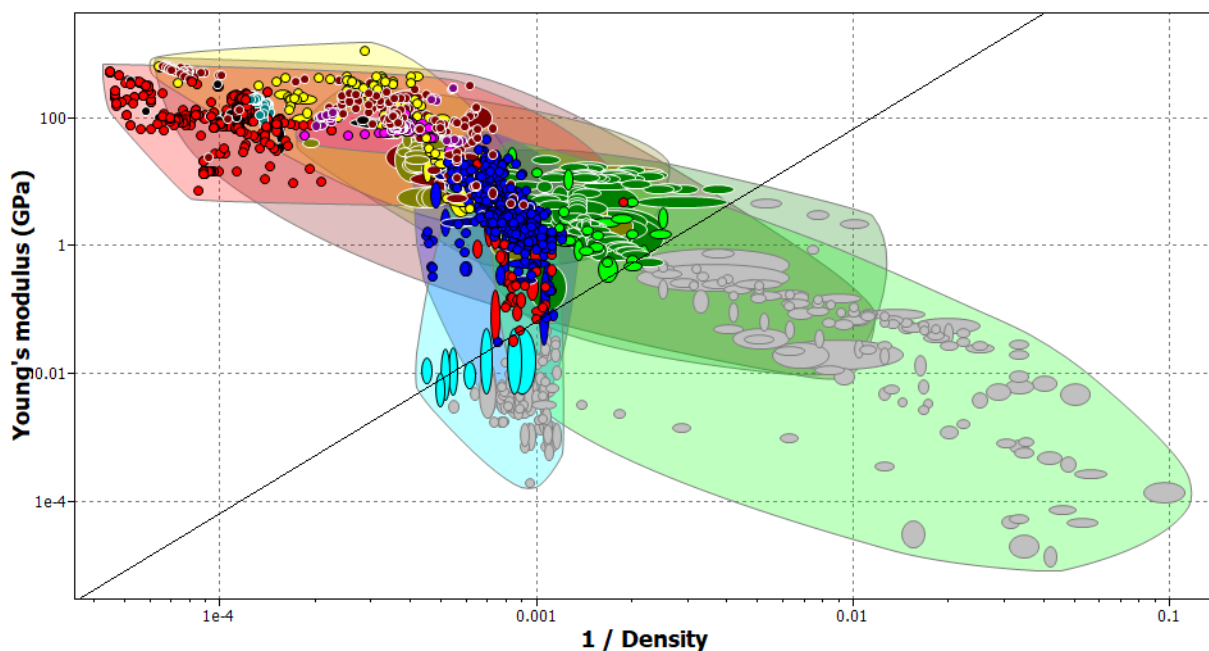


Imagen 19. Clasificación de los materiales según $E^{1/3}/\rho$

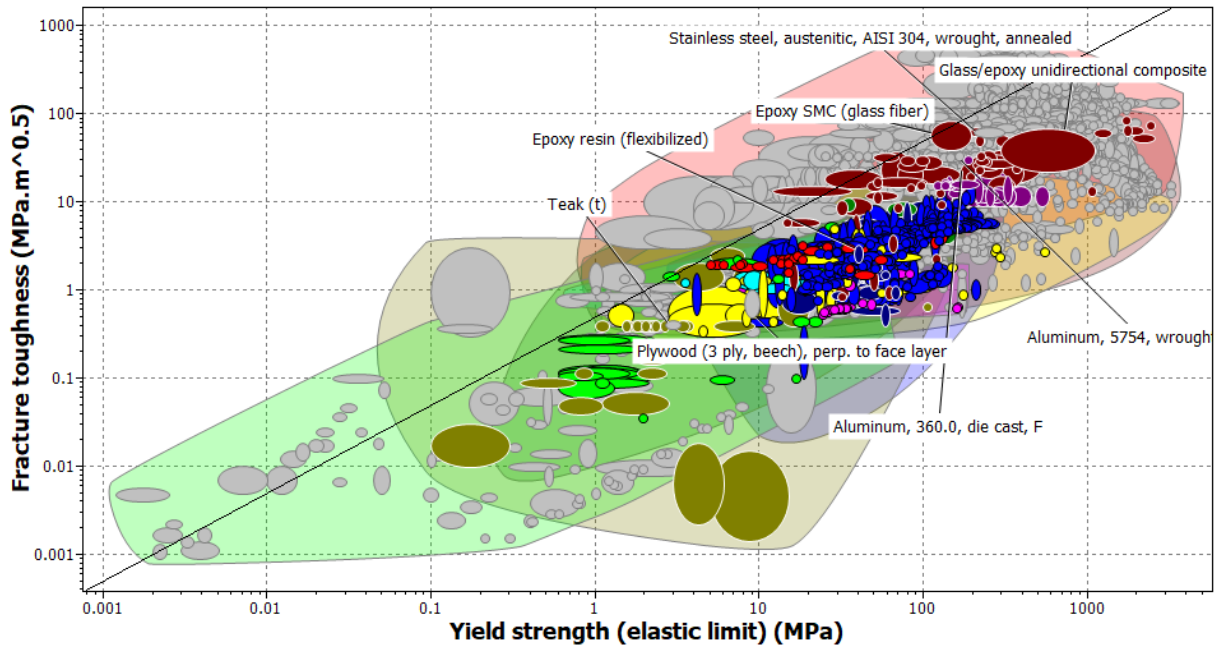


Imagen 20. Clasificación de los materiales según K_{Ic}/σ_f

3.1.3 Elección final en base a la comparativa con CES Eduapck

En conclusión, para poder disminuir la densidad de la embarcación la mejor solución sería cualquier de las maderas seleccionadas. Estos materiales se descartan de la selección del sistema CES Eduapck debido a su poca resistencia al agua salada. Por ello se deberán reforzar con Resina Epoxy, así generando una estructura tipo sándwich. Estas estructuras consisten en un núcleo ligero cubierto por dos placas relativamente delgadas de laminado sólido.

Esquemáticamente, se muestra la configuración de este tipo de materiales:

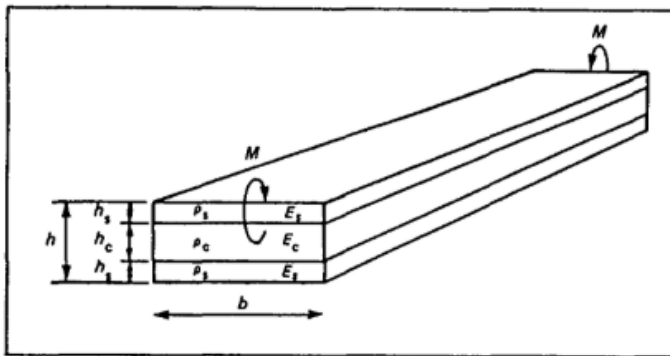


Imagen 21. Esquema de una viga topi sándwich [9]

Donde,

b, ancho de la viga

h, espesor de la viga

h_s , grosor de la piel

h_c , grosor del núcleo

E_c y E_s , módulo de Young del núcleo y la piel respectivamente

ρ_s, ρ_c , densidad del núcleo y la piel respectivamente

Teniendo en cuenta que ρ es la densidad de la viga, se considera la masa total como;

$$bhl\rho = bl(h_c\rho_c + 2h_s\rho_s) \quad \text{Ecuación 8. Masa total de una viga tipo sandwich}$$

Donde,

l , longitud de la viga

$$\rho = \rho_c v + \rho_s(1 - v) \quad \text{Ecuación 9. Densidad total de una viga tipo sandwich}$$

Donde,

$$v = h_c/h$$

Los valores geométricos característicos, así como el intervalo para los valores típicos densidad del núcleo, de este tipo de materiales son:

- $10 \leq \rho_c/\rho_s \leq 100$
- $0,25 \text{ mm} \leq \rho_s \leq 12,7 \text{ mm}$
- $20 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_c \leq 1000 \text{ kg/m}^3$

Teniendo en cuenta que el área total de la embarcación es de $18,983 \text{ m}^2$, calculado con el programa Rhinoceros, debemos saber el espesor necesario para así obtener un peso total final. Para el cálculo de este escantillonado se necesita un estudio detallado estructural de la embarcación empezando por calcular la carga a la que están sometidos cada uno del laminado. Seguidamente para realizar el cálculo del espesor del casco dividiremos el casco en dos zonas, fondo y costado. Nos ayudaremos con la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2019* [4].

Paneles de fondo. Son los situados por debajo de la línea de flotación.

$$l = 1,2 \text{ m}$$

$$b = 0,8 \text{ m}$$

$$A_D = 0,96 \text{ m}^2$$

Donde:

- l : dimensión mayor de un panel de forro.
- b : dimensión menor de un panel de forro.
- A_D : área del diseño en metros cuadrados.

Para realizar el escantillonado de los paneles de laminado se tiene que calcular la presión a la que están sometidos cada uno. Ésta será diferente dependiendo de la zona en la que se encuentre el panel, para ello se recurrirán a las fórmulas y procedimientos que facilitan la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*.

Para los paneles de fondo se utiliza las siguientes fórmulas:

$$P_{bmdbase} = (2.4 * m_{ldc}^{0.33} + 20) \quad \text{Ecuación 10. Presión base del fondo}$$

La presión de fondo será la mayor de las siguientes:

$$P_{bmd} = P_{bmdbase} * k_{DC} * k_L * k_{AR} \quad \text{Ecuación 11. Presión de los paneles de fondo}$$

$$P_{bmin} = 0.45 * m_{ldc}^{0.33} + 0.9 * k_{DC} * L_{WL} \quad \text{Ecuación 12. Presión mínima en los paneles de fondo}$$

Donde:

- m_{ldc} : desplazamiento a carga máxima, dado en kg .
- $P_{bmdbase}$: presión base del fondo que se debe tener en cuenta, expresada en kN/m^2 .
- P_{bmd} : presión de los paneles de fondo, expresada en kN/m^2 .
- P_{bmin} : presión mínima en los paneles de fondo, expresada en kN/m^2 .
- k_{DC} : tomará valor 0.6 al ser una embarcación de categoría C.
- k_L : factor de impacto longitudinal, se puede obtener en la normativa UNE-EN ISO 12215-5:2008

$$K_L = \frac{1-0.0167 \cdot n_{CG}}{0.6} \cdot \frac{x}{L_{WL}} + 0.167 \cdot n_{CG} \quad \text{Ecuación 13. Factor de impacto longitudinal}$$

Pero sin ser >1 para $\frac{x}{L_{WL}} \leq 0.6$

Donde $\frac{x}{L_{WL}}$ es la posición del centro del panel o del punto medio del refuerzo analizado a proa y popa de L_{WL} en metros.

Tabla 17. Factor de impacto longitudinal de los paneles de fondo. Elaboración propia.

PANELES FONODO	x (m)	PANELES	X medio	x/LWL	KL
F1	0	1	0,3	0,04477612	0,53823881
F2	0,6	2	0,9	0,13432836	0,61271642
F3	1,2	3	1,45	0,21641791	0,68098756
F4	1,7	4	1,95	0,29104478	0,74305224
F5	2,2	5	2,45	0,36567164	0,80511692
F6	2,7	6	2,95	0,44029851	0,86718159
F7	3,2	7	3,45	0,51492537	0,92924627
F8	3,7	8	3,95	0,58955224	0,99131095
F9	4,2	9	4,45	0,6641791	1
F10	4,7	10	4,95	0,73880597	1
F11	5,2	11	5,45	0,81343284	1
F12	5,7	12	5,95	0,8880597	1
F13	6,2	13	6,45	0,96268657	1
F14	6,7	14			

- k_{AR} : factor de reducción de área, se puede obtener en la normativa UNE-EN ISO 12215-5:2008.

El factor de reducción de la presión según la superficie k_{AR} tiene en cuenta la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel o del refuerzo.

$$k_{AR} = \frac{k_{R-0.1} \cdot m_{LDC}^{0.15}}{A_D^{0.3}} \quad \text{Ecuación 14. Factor de reducción de área}$$

Donde:

k_R es el factor estructural del elemento y tipo de embarcación. $k_R = 1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot l_u$ para los refuerzos de fondo, costados y cubierta de los veleros y de las embarcaciones de desplazamiento a motor.

Tabla 18. Factor de reducción de área de los paneles de fondo. Elaboración propia.

lu (mm)	Ad (mm ²)	Ad (m ²)	2.5*b ² *10 ⁻⁶	KR	KAR	KAR def
1200	1800000	1,8	3,6	0,76	0,19268586	0,19

- L_{WL} Eslora en línea de flotación. En nuestro caso 6,7m.

Paneles de costado. Disponemos de un refuerzo longitudinal a lo largo de toda la eslora.

$$l = 2,2 \text{ m}$$

$$b = 0,55 \text{ m}$$

$$A_D = 1,21 \text{ m}^2$$

Para los paneles de costado se utiliza las siguientes fórmulas, la presión será la mayor de las dos:

$$P_{smd} = [P_{DMBASE} + k_Z * (P_{bmdbase} - P_{DMBASE})] * k_{AR} * k_{DC} * k_L$$

Ecuación 15. Presión del costado de la embarcación

$$P_{SMIN} = 0.9 * L_{WL} * k_{DC}$$

Ecuación 16. Presión mínima en el costado de la embarcación

Donde:

P_{smd} : presión del costado de la embarcación, expresada en kN/m^2 .

P_{SMIN} : presión mínima en el costado de la embarcación, expresada en kN/m^2 .

k_Z : factor de distribución vertical de presión, se puede obtener consultando la normativa UNE-EN ISO 12215-5:2008.

Al no disponer de cubierta en nuestra embarcación nos basaremos por la presión P_{SMIN} .

Presiones finales:

$$P_{bmdbase} = (2.4 * m_{ldc}^{0.33} + 20) = 47,3886632 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 19. $P_{bmdbase}$ según los paneles de fondo. Elaboración propia.

Paneles	KL	KAR	P_{bmd}
1	0,53823881	0,19268586	2,94883555
2	0,61271642	0,19268586	3,35687418
3	0,68098756	0,19268586	3,7309096
4	0,74305224	0,2393912	5,05770195
5	0,80511692	0,19268586	4,410974
6	0,86718159	0,19268586	4,7510062
7	0,92924627	0,25	6,60536077
8	0,99131095	0,25	7,04653508
9	1	0,19268586	5,4786751
10	1	0,19268586	5,4786751
11	1	0,19268586	5,4786751
12	1	0,25	7,10829948

13	1	0,25	7,10829948
14	1	0,19268586	5,4786751

$$P_{bmin} = 0.45 * m_{ldc}^{0.33} + 0.9 * k_{DC} * L_{WL} = \underline{\underline{8,753 \text{ kN/m}^2}}$$

$$P_{SMIN} = 0.9 * L_{WL} * k_{DC} = \underline{\underline{3,618 \text{ kN/m}^2}}$$

Después se procede a calcular el espesor mínimo requerido para soportar las presiones obtenidas anteriormente. Según el apartado 10.5.4 de la normativa, con el fin de transmitir el esfuerzo cortante, el espesor efectivo del laminado tipo sandwich t_s no debe ser inferior al valor dado por la siguiente ecuación:

$$t_s \geq \sqrt{k_c} \cdot \frac{k_{SHC} \cdot P \cdot b}{1000 \cdot \tau_d}$$

Donde:

- t_s : espesor requerido de los paneles, expresado en *mm*.
- k_c : corrección de curvatura, consultar en la normativa UNE-EN ISO 12215-5:2008. En nuestro caso, tanto para los costados como para el fondo $k_c = 1$
- k_{SHC} : es el factor de alargamiento de tensión de cizalla, dado en la tabla 12 de la normativa, para los paneles de fondo será 0,424 y para los paneles de costado 0,5.
- P : Presión calculada.
- b : lado corto del panel, expresado en *mm*.
- τ_d : tensión de cizalla de diseño del núcleo, que de acuerdo con la Tabla 13 de la normativa deberá ser 0,25 [N/mm²]

Tabla 20. Factores obtenidos de los paneles. Elaboración propia.

	k_{SHC}	P	b
Fondo	0,424	8,753	800
Costado	0,5	3,618	550

Tabla 21. Espesor mínimo requerido. Elaboración propia

Paneles	t_s mínimo requerido
Fondo	11,8760704
Costado	3,9798

Al obtener el espesor de los paneles, tanto los de fondo como los de costado, realizaremos un cálculo estimado del peso total de la embarcación.

Tabla 22. Elección final propuesta de modificación de material. Elaboración propia.

Material	Fondo	Costado
	3mm Fiber face-sheets / 10mm Plywood core**	0,05mm Fiber face-sheets / 10mm Plywood core**
Espesor total [m]	0,016	0,0101
Nº Placas	14	6
Área placas	0,96	1,21
Área total	13,44	7,26
Densidad [kg/m³]	1400	750
Peso	301,056	54,9945
Peso total casco [Kg]	356,0505	
Precio total casco [€]*	1068,15	
Precio total casco con mano de obra incluida [€]*	7231,31	

**No se garantiza exactitud en los datos, son estimados.*

***Se presenta la ficha técnica en el [Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)*

3.2 Placas solares

Para poder aprovechar la luz solar, disponemos de dos formas distintas. Disponemos de la energía solar térmica y de la energía solar fotovoltaica. La energía solar térmica aprovecha los rayos solares para calentar algún tipo de fluido, utilizado principalmente para calefacción y agua caliente sanitaria. Estos sistemas suelen ser caros ya que requieren de grandes superficies debido a la gran dispersión por la superficie terrestre de la radiación solar. La segunda forma, la energía solar fotovoltaica, transforma directamente la luz solar para producir energía. Una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad gracias al proceso de efecto fotovoltaico. La luz solar está compuesta por fotones de diferentes energías, según las longitudes de ola del espectro solar.

3.2.1 Energía solar fotovoltaica

El efecto fotovoltaico se plantea cuando una célula fotovoltaica transforma luz solar en electricidad. Los fotones o partículas energéticas que componen la luz solar son de distintas energías según las longitudes de ola del espectro solar. En el momento que estos fotones inciden sobre una célula fotovoltaica pueden pasar a través, reflejarse o absorberse por la célula. Estos fotones absorbidos son los que generan electricidad, ya que su energía se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. El electrón cambia su posición y así poder formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Una de las partes más importantes de una célula solar son las capas de semiconductores. Estas capas, donde se genera esta corriente de electrones, deben ser capaces de generar dos capas (tipo p y tipo n) para generar un campo eléctrico positivo y negativo. Por ese motivo, el material de las células se caracteriza por actuar como aislantes a bajas temperaturas y conductores en el momento que aumenta la energía. Estas células conectadas entre ellas y montadas encima de una estructura o marco conforman el módulo fotovoltaico.

Los sistemas fotovoltaicos destacan por su alto grado de autonomía comparado con otras fuentes energéticas. Al ser una energía renovable se caracteriza por ser una fuente ilimitada. Aunque la cantidad de corriente producida depende directamente del Sol, estos sistemas se caracterizan por poder aprovecharse en cualquier lugar geográfico. Además, debemos tener en cuenta que a causa del impacto

medioambiental que producen las fuentes de energía hoy en día, la energía solar es cada vez más atractiva.

3.2.2 Panel solar

Un panel solar es el conjunto de elementos que permiten aprovechar la luz solar y con ella generar energía útil, tanto abastecer de electricidad como aprovechar el calor que ésta genera. Según el uso que se les dé a los paneles para producir electricidad o generar calor, se construyen de distintas formas diferenciándose como colector solar o panel fotovoltaico.

- Colector solar: Paneles que a partir de la energía térmica solar producen calor. Contiene un fluido que capta el calor que generan los rayos solares y se recolecta en un compartimento. Este líquido circula por unos conductos que atraviesan un intercambiador de calor. En este intercambiador liberará el calor y cuando se encuentre frío volverá al colector de luz solar.
- Panel fotovoltaico: Panel que a partir de la absorción de la luz solar por medio de células fotovoltaicas se encarga de generar electricidad. El conjunto de celdas que forman el panel solar, las células fotovoltaicas, se encargan de convertir los rayos solares en electricidad. Este campo eléctrico se genera a partir del tráfico de cargas de los fotones luminosos, cargados positiva y negativamente. Cuando los rayos solares inciden sobre la superficie de la célula se liberan electrones del átomo del material. El movimiento de estos electrones excitados genera el efecto fotovoltaico.

Para el proceso de generación eléctrico se fabrican las células fotovoltaicas con Silicio, el segundo elemento más abundante en la Tierra. Este elemento, el Silicio, se procesa para formar un cilindro cristalino y sólido. Este cilindro, un cristal semiconductor, se corta a capas. Estas capas se tratan químicamente para ser células fotovoltaicas. Una vez obtenemos estas células se conectan entre ellas intercalando los lados positivos y negativos para completar el circuito eléctrico. Una vez la célula es expuesta a la luz solar la electricidad fluye por el circuito eléctrico. Si conectamos las células en serie lo denominamos módulo, y podemos conectar varios módulos a la vez.

3.2.3 Partes de una placa fotovoltaica

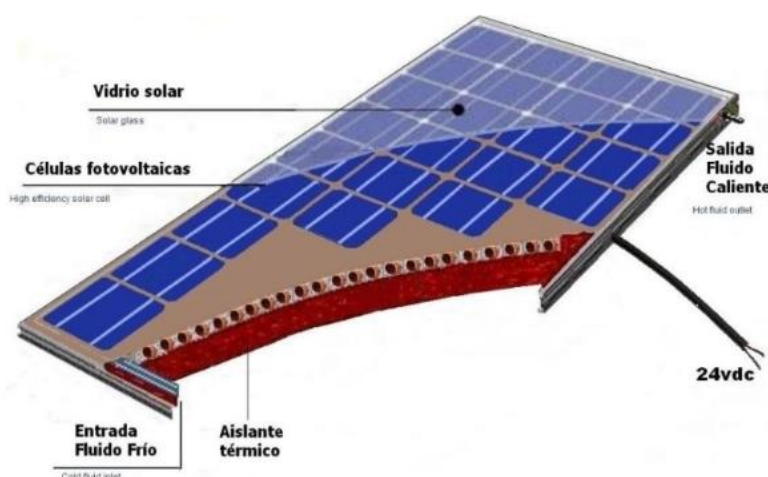


Imagen 22. Partes de una célula fotovoltaica. [10]

En cuanto a constitución todas las placas fotovoltaicas son similares. Por lo que podemos destacar distintas partes como:

- Marco reforzado: Marco donde se soportan los elementos que constituyen la estructura de las células fotovoltaicas.
- Caja de conexiones: Caja estanca con las terminaciones eléctricas de las células fotovoltaicas para interconexión con otras placas o para la salida de tensión.
- Etiqueta de características: Etiqueta en la que se indica las características principales del módulo fotovoltaico como la marca, el modelo, la potencia, las normas entre otras.
- Cubierta exterior: Vidrio templado protector contra impactos que favorece la transmisión de los rayos de sol.
- Encapsulamiento: Cápsula de silicona que protege las células de la intemperie. Retiene las radiaciones para evitar pérdida de intensidad.
- Células solares: Celda de cristal revestida de silicio. Es el centro del panel y está extendida a lo largo de la superficie.
- Plancha de la base: Base del panel hecha de aluminio o vidrio.
- Cableado salida a tierra: Protección que evita accidentes causados por la conductividad eléctrica.

3.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Las células fotovoltaicas, como se ha dicho anteriormente, se fabrican con Silicio. Aun así, podemos diferenciar distintas células de silicio cristalino.

- Células de Silicio monocristalino: Solo se forman por un único tipo de cristal. Consiguen muy buen rendimiento, por encima del 30%, y gran durabilidad, entre 20 y 30 años. Aun así, son bastante caras y difíciles de conseguir.
- Células de Silicio policristalino: Se mezcla el Silicio con Arsenio o Galio. Su rendimiento es bueno, de un 15%. No son tan duraderas como las anteriores, pero se suelen utilizar en condiciones ambientales extremas, ya que por muy duraderas que sean se romperían igual, como en el desierto, en alta montaña entre otros.
- Células amorfas: Son las células más económicas, pero de menor rendimiento y durabilidad. Proporcionan una baja cantidad de energía.

3.2.5 Comparativa de distintos modelos de placas

En este apartado se comparará la placa solar existente descrita en la Tabla 5 con otros modelos existentes en el mercado:

Tabla 23. Características principales placa solar SunPower X-Series: X22-360. Elaboración propia.[11]

MARCA Y MODELO	SunPower X-Series: X22-360
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia máxima (Pmax, W)	345
Tensión a potencia máxima (Vmpp, V)	57,3
Corriente a potencia máxima (Impp, A)	6,02
Tensión en circuito abierto (Voc, V)	68,2

Corriente de cortocircuito (I_{sc} , A)	6,39
Eficiencia del módulo (%)	21,2
MEDIDAS	
Longitud (mm)	1559
Ancho (mm)	1046
Altura (mm)	46
Peso (kg)	18,6
Precio módulo (€)	
	441,65
Área placa (m^2)	1,630714
Área captación (m^2)	13,01504
Total placas (u redondeado)	8
Total precio (€)	3533,2
Total peso (kg)	148,8

Tabla 24. Características principales placa solar Jinko 275W. Elaboración propia.[12]

MARCA Y MODELO	Jinko 275W
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia máxima (P_{max} , W)	275
Tensión a potencia máxima (V_{mpp} , V)	32
Corriente a potencia máxima (I_{mpp} , A)	8,61
Tensión en circuito abierto (V_{oc} , V)	39,1
Corriente de cortocircuito (I_{sc} , A)	9,15
Eficiencia del módulo (%)	16,8
MEDIDAS	

Longitud (mm)	1650
Ancho (mm)	992
Altura (mm)	40
Peso (kg)	19
Precio módulo (€)	134
Área placa (m ²)	1,6368
Área captación (m ²)	13,01504
Total placas (u)	8
Total precio (€)	1072
Total peso (kg)	152

Tabla 25. Características principales placa solar PANASONIC VBHN325SJ47. Elaboración propia.[13]

MARCA Y MODELO	PANASONIC VBHN325SJ47
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia máxima (P _{max} , W)	325
Tensión a potencia máxima (V _{mpp} , V)	57,6
Corriente a potencia máxima (I _{mpp} , A)	5,65
Tensión en circuito abierto (V _{oc} , V)	69,6
Corriente de cortocircuito (I _{sc} , A)	6,03
Eficiencia del módulo (%)	19,4
MEDIDAS	
Longitud (mm)	1590
Ancho (mm)	1053
Altura (mm)	35
Peso (Kg)	18,5
Precio módulo (€)	275,88

Área placa (m ²)	1,67427
Área captación (m ²)	13,01504
Total placas (u)	8
Total precio (€)	2207,04
Total peso (kg)	148

Tabla 26. Características principales placa solar Aleo X59. Elaboración propia. [14]

MARCA Y MODELO	Aleo X59
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia máxima (Pmax, W)	300
Tensión a potencia máxima (Vmpp, V)	32,4
Corriente a potencia máxima (Impp, A)	9,34
Tensión en circuito abierto (Voc, V)	39,6
Corriente de cortocircuito (Isc, A)	9,85
Eficiencia del módulo (%)	18,3
MEDIDAS	
Longitud (mm)	1660
Ancho (mm)	990
Altura (mm)	42
Peso (kg)	19
Precio módulo (€)	350,9
Área placa (m ²)	1,6434
Área captación (m ²)	13,01504
Total placas (u)	8

Total precio (€)	2807,2
Total peso (kg)	152

Tabla 27. Características principales placa solar REC 280TP. Elaboración propia.[15]

MARCA Y MODELO	REC 280TP
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia máxima (Pmax, W)	285
Tensión a potencia máxima (Vmpp, V)	32,1
Corriente a potencia máxima (Impp, A)	8,9
Tensión en circuito abierto (Voc, V)	39,5
Corriente de cortocircuito (Isc, A)	9,54
Eficiencia del módulo (%)	17,3
MEDIDAS	
Longitud (mm)	1665
Ancho (mm)	991
Altura (mm)	38
Peso (kg)	18
Precio módulo (€)	379
Área placa (m²)	1,650015
Área captación (m²)	13,01504
Total placas (u)	8
Total precio (€)	3032
Total peso (kg)	144

Tabla 28. Características principales placa solar Shenzhen solar SHINE Sunpower SN-MH200W. Elaboración propia.[16]

MARCA Y MODELO	Shenzhen solar SHINE Sunpower SN-MH200W
----------------	---

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Potencia máxima (Pmax, W)	200
Tensión a potencia máxima (Vmpp, V)	36,2
Corriente a potencia máxima (Impp, A)	5,5
Tensión en circuito abierto (Voc, V)	43,4
Corriente de cortocircuito (Isc, A)	6,1
Eficiencia del módulo (%)	18,56

Medidas

Longitud (mm)	1560
Ancho (mm)	800
Altura (mm)	3
Peso (kg)	4,5

Precio módulo (€)	220
-------------------	-----

Área placa (m²)	1,248
Área captación (m²)	13,01504
Total placas (u)	11
Total precio (€)	2420
Total peso (kg)	49,5

3.2.6 Elección final en base a la comparativa de distintos modelos de placas

Tabla 29. Relación precio-peso de los distintos modelos de placas solares nombrados. Elaboración propia.



Como se observa en la Tabla 29, el modelo utilizado en la embarcación actual, ReneSola, se encuentra en el promedio tanto de peso como de precio entre los modelos estudiados. Cuál es el mejor panel solar por su relación calidad-precio no tiene una respuesta única y correcta. Debido a la igualdad de ReneSola en peso y medidas con las demás placas solares es difícil encontrar un gran cambio de densidad en placas solares. Aun así, podemos destacar dos mejoras:

- Las placas solares Jinko. Tienen un precio de 1072,00 €, ahorrando unos 1.000€ en el presupuesto total. Son placas reconocidas mundialmente dentro del sector fotovoltaico que además de mayor capacidad potencial que las instaladas actualmente y mayor eficiencia. El principal inconveniente de estas placas es el incremento de peso que haría incrementar el desplazamiento total de la embarcación y, por lo tanto, la resistencia al avance.
- Las placas solares REC. Aunque el peso no sea muy diferente es menor que las otras placas pudiendo así, disminuir la resistencia al avance e incrementar la velocidad de la embarcación con la misma potencia. Aun así, las placas solares REC las podemos destacar por su menor peso. Sin embargo, debemos tener en cuenta que el precio de éstas es mucho más elevado y, además, como las placas nombradas anteriormente, tiene mayor capacidad potencial.

Finalmente, después del estudio de diversas placas convencionales nos planteamos la implementación de placas flexibles. Como resultado final, la Tabla 28. Características principales placa solar Shenzhen *solar SHINE Sunpower SN-MH200W*. *Elaboración propia*. [16] es la que mejor se ajusta a nuestras necesidades con una reducción total de casi 100kg con una leve disminución del precio. Con un precio final de 2420€ y un peso total de 49,5kg.

3.2.7 Ventajas e inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica

Hoy en día se procede a implantar más sistemas de energía renovable tanto en las viviendas como en los automóviles. Se dice que puede ser el futuro, por lo que valoraremos los beneficios e inconvenientes de estos sistemas.

Ventajas:

- No se generan contaminantes atmosféricos ni residuos.
- Como se ha comentado anteriormente, el Silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra.
- No se requiere de suministro exterior.
- No es necesaria una radiación solar directa (funcionan los días nublados).
- No se requiere de un gran mantenimiento.
- El montaje y desmontaje es rápido, ya que son modulares y se adaptan a diferentes tipos de aplicaciones.
- No se produce ningún ruido, contaminación acústica nula.
- Es un sistema de energía fiable y de una vida útil de 30 años aproximadamente.
- Política y económicamente hablando, no hay dependencia de los grandes países productivos de combustibles.

Inconvenientes:

- El proceso de fabricación e instalación provoca un impacto en la atmósfera.
- Dificultad de almacenar la energía, sobre todo el coste y dimensión que necesitamos de baterías.
- Al no disponer de una radiación solar constante, la energía no es regular. Se necesita una gran inversión inicial aunque se amortiza con el tiempo porque requiere un mantenimiento bajo.
- Las placas solares, independientes del resto de instalación, causan un alto impacto visual.

3.3 Baterías

3.3.1 Características

A causa de la irregularidad que podemos encontrar, las baterías son dispositivos que tratan de suministrar potencia instantánea o potencia durante breves momentos mejor de la que suministraría el techo solar en sus mejores condiciones. Además, tratan de mantener el nivel de tensión, proporcionan el voltaje independiente de las condiciones luminosas del momento.

Las baterías están formadas por celdas, la unidad más pequeña que las conforma, y por dos electrodos distanciados por un separador y un electrolito en el medio. En el cátodo (el electrodo positivo) se realiza la reducción y en el ánodo (el electrodo negativo) la oxidación. El electrolito ocupa el espacio entre los electrodos y el separador, provoca que los electrones circulen por el circuito exterior generando corriente eléctrica.

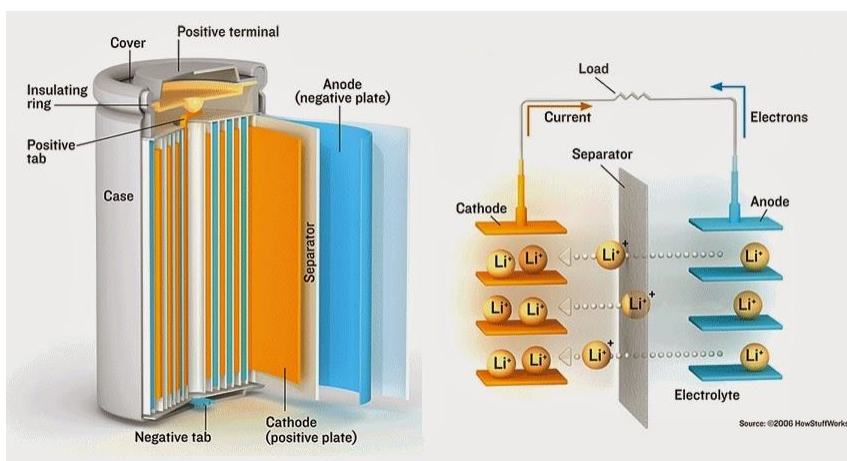


Imagen 23. Concepto y Componentes principales de una celda de Li-ión [17]

Para entender el concepto de la función de las baterías podemos ver la Imagen 23, poniendo como ejemplo las baterías de Litio, una de las más utilizada en los vehículos eléctricos. Durante la carga, los electrones van del cátodo al ánodo y los iones de litio, cargados positivamente, se desplazan a través del separador. Durante la descarga, los iones de litio se mueven del ánodo al cátodo y obligan a cambiar la dirección de los electrones generando una corriente que proporciona energía. Por eso motivo se suministra electricidad a la batería durante la carga y, en cambio, la energía almacenada en forma química en los materiales activos de los electrodos, se transforma, directa y espontáneamente, en energía eléctrica durante la descarga.

Las celdas se agrupan en módulos con el fin de cambiar sus condiciones, es decir, se pueden realizar conexiones en serie para aumentar la tensión de la batería, conexiones en paralelo para así aumentar la capacidad y en serie-paralelo para así aumentar ambas condiciones.

Podemos destacar que las características de las baterías más relevantes son:

- La Resistencia interna: es un concepto teórico, pero si fuera necesario se podría calcular mediante la corriente y el voltaje medidos de la batería. Agrupa y simplifica en forma de resistencia todas las consecuencias eléctricas que general las relaciones químicas que se producen. Con la edad de la batería, este parámetro variará. Generalmente las baterías suelen tener una resistencia interna de 1 Ohm.
- Rendimiento: Es la relación entre la energía que se recibe durante la carga y la que suministra durante la descarga.
- Velocidad de carga y descarga: Las corrientes de carga y descarga a menudo se especifican con unos términos que indican la descarga completa en un período continuo de una hora. Estos términos son los regímenes C y sus múltiplos y submúltiplos son un medio muy cómodo para especificar las velocidades de carga y descarga. Por tanto, 10C es la corriente que descarga la batería en seis minutos, mientras que C/10 es la corriente que descarga la batería en diez horas.
- Vida útil: Número de ciclos de recarga que es capaz de realizar la batería para recobrar su capacidad completa después de su uso.

3.3.2 Clasificación de las baterías

Sin tener en cuenta la composición química, podemos clasificar las baterías como primarias y secundarias. En las baterías primarias, la reacción electroquímica es irreversible, por lo que no podrán volver a

cargarse. En las baterías secundarias, después de descargarse pueden ser cargadas por una fuente externa.

Dentro de los acumuladores secundarios podemos diferenciar las baterías según su aplicación como baterías de arranque, industriales, estacionarias o de tracción. Las baterías de arranque son utilizadas para motores de combustión debido a la necesidad puntual de mucha energía. En cambio, las baterías de tracción son utilizadas en vehículos híbridos o eléctricos por sus ciclos constantes.

3.3.3 Tipos de baterías

- **Baterías de Plomo:** Son las más utilizadas en vehículos de pequeñas dimensiones como los vehículos para movilidad reducida, ciclomotores y bicicletas. También suelen usarse para vehículos con motores convencionales o híbridos, para que el arranque del motor y para dar soporte al mantenimiento de los circuitos eléctricos. Aun así, no se usan para tracción. Existe una variante de baterías de plomo en la que el electrolito no es líquido, sino gel. Suelen ser económicas, fáciles de reciclar, pero carecen de elevado voltaje, intensidad de corriente y potencia. Dan más de un 90% de rendimiento. Aunque presentan desventajas como baja energía específica, poca vida útil y son contaminantes, su uso está limitado por ley.
- **Baterías de Níquel Metal Hidruro:** Son el desarrollo de las baterías de Ni-Cd, el ejemplo más corriente es la pila. Se prohibió su comercialización por motivos medioambientales a causa de la nocividad del cadmio, por ello se sustituyeron por las de NiHM. Se utiliza un ánodo de hidróxido de níquel (NiOH) y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. Actualmente se usan para bicicletas eléctricas o para algún que otro vehículo híbrido. En los vehículos eléctricos están siendo sustituidas por las baterías de Li-ón. En comparación a las baterías de Plomo definidas anteriormente, éstas son más caras pero tienen mejor capacidad de almacenamiento. Por lo general, son baterías de moderado ciclo de vida, elevado peso y mal rendimiento en climas fríos.
- **Baterías Li-ion:** Son las baterías más actuales. Principalmente se asocia a cualquier composición que utilice Litio como cátodo. El uso de este nuevo material ha cobrado gran importancia para su utilización en los vehículos eléctricos modernos. Permite altas prestaciones como son altas energías, eficiencia, eliminación del efecto memoria y sin mantenimiento. En un espacio más reducido disponen del doble de densidad energética que las baterías de Ni-Cd. Principalmente, la desventaja es su elevado coste de producción. Por lo general, son frágiles. Deben ser almacenadas con mucho cuidado, tanto por su necesidad de temperatura fría (ya que pueden explotar por sobrecalentamiento), como por tener que estar siempre parcialmente cargadas ya que presentan rápida degradación ante situaciones de sobrecarga o sobre descargas.



Imagen 24. Batería NiCd de Panasonic

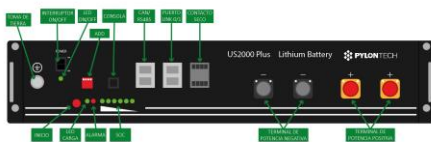


Imagen 25. Detalle frontal de la Batería de Litio Pylontech US2000B Plus 48V 2,4kWh

Dentro de las baterías de Litio existen subtipos. Estos se diferencian por el material del cátodo, por su química. Por lo general, se utiliza carbón (grafito) en los ánodos y presentan variaciones en los cátodos, utilizando cobalto, manganeso u otros metales. Las baterías de Litio-polímero, destacan por su diferencia en la sal de Litio que está contenida con un compuesto polimérico que evita derrames.

Las baterías litio-fosfato de hierro (LFP), LiFePO_4 , utilizadas en la embarcación actual, están hechas de olivino. La batería tiene electrolito entre su parte superior e inferior y está recubierto con metal, totalmente sellado. Al no usar cobalto tiene mayor estabilidad y seguridad. Tienen un ciclo de vida más largo y mayor potencia. Podemos encontrar diversos prototipos que aún están en desarrollo tecnológico, por ello sus costes actuales son elevados y no garantizan mayor vida útil que las de Litio.

Otro subtipo que conocemos son las baterías de litio con magnesio (LMO), las de níquel o las baterías con magnesio y cobalto mezclados (NMC).

Tabla 30. Características de los subtipos de las baterías de Li-ión. Fuente: (Huat, Yonghuang y Tay 2015)

Especificaciones	LCO	LMO	LFP	NMC
Voltaje (V)	3,6	3,8	3,3	3,6/3,7
Límite de carga (V)	4,2	4,2	3,6	4,2
Ciclo de vida	500-1000	500-1000	1000-2000	1000-2000
Energía específica (Wh/kg)	150-190	100-135	90-120	140-180

- Baterías de Metal aire: Una alternativa como tecnología de futuro para los nuevos vehículos eléctricos son las baterías con cátodos de aire y ánodos de metal. Pueden ser alternativas prometedoras ya que si se utiliza el ánodo de Litio las baterías proporcionan un elevado potencial energético comparado con los acumuladores de litio actuales. Si se utiliza el ánodo de Aluminio, su capacidad sigue siendo superior a las de litio actuales pero de forma más económica.

Tabla 31. Principales características y factores por tipología de batería recargable. Fuente: (Catenacci et al. 2013)

Especificaciones	Plomo ácido	NiCd	NiHM	Li-ión
Voltaje normal (V)	2,0	1,2	1,2	3,6
Energía específica gravimétrica (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	100
Energía específica volumétrica (Wh/L)	60	150	200	230
Potencia específica (W/kg)	130	200	250	330
Eficiencia energética (%)	65	80	85	95
Ciclo de vida (nº de ciclos)	200-300	500-1000	300-500	1000
Peligrosidad ambiental	Medio	Bajo	Medio	Alto
Seguridad	Medio	Alto	Alto	Bajo
Costes	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Tasa de autodescarga (%/ mes)	5	25-30	30-35	<10
Efecto memoria	No	Si	Si	No

3.3.4 Comparativa de distintos modelos de baterías

En general consideramos las baterías el componente más crítico del vehículo eléctrico, ya que representan un tercio del coste. Actualmente, como se puede apreciar en la Imagen 26, los principales tipos que se comercializan en vehículos eléctricos son NiHM, Li-ión y Polímero de Litio.

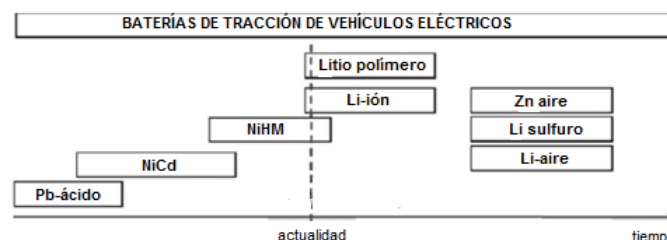


Tabla 32. Características principales de las baterías SUPER B LITIO SB12V100E-ZC [18]

MARCA	SUPER B LITIO SB12V100E-ZC
TIPO	Batería LiFePO4
CAPACIDAD	200Ah / 52,8v / 10,560kW
PESO	74 kg
PRECIO	6868,00 €

Tabla 33. Características principales de las baterías Mastervolt MLI Ultra [19]

MARCA	Mastervolt MLI Ultra
TIPO	Batería LiFePO4
CAPACIDAD	360Ah / 39,6v / 14,256kW
PESO	174 kg
PRECIO	19797,00 €

Tabla 34. Características principales de las baterías Batería HE Victron Energy [20]

MARCA	Batería HE Victron Energy 24V/200Ah
TIPO	Batería Litio-Ion NMC
CAPACIDAD	200Ah / 50,4v / 10,080kW
PESO	57,2 kg
PRECIO	2570,00 €

Tabla 35. Características principales de las baterías de fosfato de hierro y litio Victron Energy [21]

MARCA	Baterías de fosfato de hierro y litio
TIPO	Batería Litio-Ion NMC
CAPACIDAD	200Ah / 51,2v / 10,240kW
PESO	112 kg
PRECIO	2308,24 €

3.3.5 Elección final en base a la comparativa de distintos modelos de baterías

Finalmente, después del estudio de diversas baterías podemos decir que la mejor opción son las baterías de Victron Energy. Si cambiáramos los dos bancos de baterías actuales por dos baterías de fosfato de hierro y litio de dicha empresa los cambios son muy favorables. Como podemos ver en la Tabla 35. Características principales de las baterías de fosfato de hierro y litio Victron Energy [21] el peso de las baterías se reduce unos 40kg y el precio también disminuye favorablemente.

3.4 Resultados embarcación modificada

Finalmente, después de las modificaciones estudiadas anteriormente podemos analizar los distintos posibles cambios realizados.

	CANTIDAD (Ud)	PESO (kg)	PESO TOTAL (kg)	PRECIO (\$)
TIMÓN COMPLETO	1	2	2	302,67
CONSOLA CENTRAL	1	3	3	73,83
BANCOS PASAJEROS	2	2,5	5	400
BANCO TRASERO	1	1,5	1,5	249,8
ASIENTO TRASERO	1	2,5	2,5	92,71
CORNAMUSAS	3	0,7	2,1	43,89
ANCLA CON CADENA	1	6	6	100
EQUIPO DE SEGURIDAD	1	3	3	52
BOMBA ACHIQUE AUTOMÁTICA	1	2	2	61,88
LUCES DE NAVEGACIÓN	3	0,2	0,6	12,32
ENCHUFES	3	0,1	0,3	107,64
MOTOR	1	61,3	61,3	10300
BATERIAS	1	112	112	5000
SOPORTES PANELES	1	20	20	3391
PANELES SOLARES	8	4,5	36	2720,2
PERSONAS	10	75	750	0
CASCO	1	356,05	356,05	8000
TOTAL			1363,35	30907,94

El total de la embarcación supondrá un coste aproximado de 30907,94 dólares, lo que equivale a 27938,117 euros con un peso total de 1363,35 kg.

En definitiva, se reduce unos 7000 dólares y 300 kg de desplazamiento total. Los resultados finales de este proyecto garantizan el inicio de un estudio posterior sobre la reducción de superficie mojada y el incremento de velocidad que realmente suponen estas modificaciones.

4. CONCLUSIONES

Teniendo como punto de partida una embarcación sostenible totalmente eléctrica ya existente por la empresa Eboat Panamá, este proyecto se ha dividido en dos partes bien diferenciadas: (1) debido a la inexistencia de los planos de formas y estudios estructurales y de estabilidad de la embarcación actual, se ha realizado un proyecto técnico siguiendo la espiral de diseño, (2) se ha ampliado el estudio con propuestas de modificación de ciertos elementos significativos (material del casco, los paneles solares y las baterías) con el objetivo de reducir el peso total de ésta y, consecuentemente incrementar su velocidad para que sea competitiva con las embarcaciones no sostenibles que navegan por la misma zona.

Inicialmente se disponía de unos datos y dimensiones preliminares que nos han ayudado a describir y detallar la embarcación actual. Con el autoaprendizaje de Rhinoceros se ha actualizado el modelo original en 2D y 3D partiendo del modelo ya existente. Llegados a este punto, con todos los parámetros estructurales y los pesos definidos, se ha realizado el cálculo de resistencia al avance confirmando la potencia propulsiva. Dentro del sistema propulsivo se ha estudiado detalladamente la complejidad del sistema de generación eléctrica que supone la embarcación. Las últimas etapas de la definición técnica concluyen con un estudio completo de estabilidad y un desglose de presupuesto.

Por otro lado, se han planteado diversas modificaciones de la embarcación actual, lo que ha supuesto una mayor dificultad. Tanto el estudio de los materiales, como el estudio de las distintas aplicaciones de energía fotovoltaica y el funcionamiento de las baterías, han requerido un aprendizaje previo y desconocido que, aunque complejo, ha resultado muy interesante.

Como conclusión, se puede afirmar que, aunque la embarcación ya sea sostenible, se le puede aplicar alguna modificación estructural para aligerar su peso y así obtener menor superficie mojada. Además, estas modificaciones podrían suponer una disminución en el presupuesto final. Aunque en este proyecto se han planteado unas modificaciones y se ha obtenido una reducción de peso total, sería necesario realizar, en un estudio posterior, la reducción de superficie mojada y el incremento de velocidad que realmente suponen estas modificaciones.

Tras la finalización de este proyecto se confirma la importancia que requiere apostar por la energía solar y se evidencian todas sus ventajas, sobre todo como modo de inversión a largo plazo en el transporte marítimo.

Este proyecto ha tratado de recopilar, aplicar y reforzar todos los conocimientos adquiridos durante el transcurso del grado de Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval. Con su ejecución se ha adquirido un amplio aprendizaje, tanto de una pequeña parte del futuro de las energías renovables como de diferentes programas informáticos que nos facilitan muchos y variados estudios.

Bibliografía

- [1] “Eboat-Panamá Barcos Lancha solar eléctrica, Electric boats.” [Online]. Available: <http://www.eboat-panama.com/>. [Accessed: 19-Oct-2018].
- [2] J. H. EVANS, “BASIC DESIGN CONCEPTS,” *J. Am. Soc. Nav. Eng.*, pp. 671–678, 2009.
- [3] “Construcción del Buque I: Introducción a la construcción del buque I.” [Online]. Available: <http://arquitecturabuque.blogspot.com/2011/07/introduccion-la-construccion-del-buque.html>. [Accessed: 05-Dec-2019].
- [4] AENOR UNE-EN ISO12215-5:2019, “Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.”
- [5] AENOR UNE-EN ISO 12217-1:2017, “Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m. (ISO 12217-1:2015).”
- [6] Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval, “Apuntes asignatura Proyectos impartida por el Dr. Julio García Espinosa,” 2016.
- [7] “Francobordo.com - Tienda Online de Nautica, Outdoor, Pesca y Submarinismo.” [Online]. Available: <https://www.francobordo.com/>. [Accessed: 18-May-2019].
- [8] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 2th ed. 1999.
- [9] A. J. and G. D. SIMS, *Mechanical properties and design of sandwich materials*. National Physical Laboratory, UK, 1986.
- [10] “PANEL SOLAR | Qué es, tipos, partes, capacidad y funcionamiento.” [Online]. Available: <http://como-funciona.co/un-panel-solar/>. [Accessed: 13-Jul-2019].
- [11] A. Better, “Fundamentally Different. The SunPower Maxeon TM Solar Cell Conventional Panel SunPower® X-Series 12% More Power in Year 25 SunPower® E-Series and X-Series Conventional Panel.”
- [12] “Jinko 275W de 60 células.” [Online]. Available: <https://www.monsolar.com/placa-solar-jinko-eagle-60-cells.html>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [13] “PANASONIC VBHN325SJ47.” [Online]. Available: https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/test/comparar-paneles-fotovoltaicos/panasonic-vbhn325sj47/54330_54331. [Accessed: 21-Jul-2019].
- [14] “Aleo Solar | X59 Supercharged 300 | Pagina de Datos de Paneles Solares | Directorio de Paneles ENF.” [Online]. Available: <https://es.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/38091>. [Accessed: 23-Jul-2018].
- [15] REC solar, “rec TwinPeak SERIES REC TwinPeak series,” 2016. [Online]. Available: http://www.europe-solarshop.com/documents/rec/ds_rec_twinpeak_series_rev_g_eng.pdf. [Accessed: 23-Jul-2018].
- [16] “Best sold mono semi flexible photovoltaic 180w 200w 250w 330w 360w solar pv panel, View solar pv panels, Shine Product Details from Shenzhen Shine Solar Co., Ltd. on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://shinedigital.en.alibaba.com/product/62225844547-804078665/Best_sold_mono_semi_flexible_photovoltaic_180w_200w_250w_330w_360w_solar_pv_panel.html?spm=a2700.icbuShop.11406.2.7bb792d8Swb0bO. [Accessed: 20-Aug-2019].

- [17] "Ciencia y tecnología.: Baterías de Ion-Litio: conceptos, funcionamiento, mantenimiento y trucos - PARTE I." [Online]. Available: <http://arquitectura.blogspot.com/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html>. [Accessed: 13-Jul-2019].
- [18] "SUPER B LITIO SB12V100E-ZC." [Online]. Available: <http://www.disvent.com/sb12v100e-zc#product-techspecs>. [Accessed: 20-Aug-2019].
- [19] "Batería Ion-Litio Mastervolt MLI Ultra 12/5000 | TeknoSolar.com." [Online]. Available: https://www.teknosolar.com/bateria-ion-litio-mastervolt-mli-ultra-12-5000/?gclid=CjwKCAjwnf7qBRAtEiwAseBO_G0OtwxIV8cZ5u9uBvVr2SjlrItZC7fZx7vpRQkjWKcsg-OSz9v9ixoCy1AQAvD_BwE. [Accessed: 20-Aug-2019].
- [20] "VICTRON ENERGY." [Online]. Available: www.victronenergy.com.
- [21] "VICTRON ENERGY."

Anexo 1. Información Eboat Panamá

“Sol de mi vida”

Documentación técnica



Lancha:

Fabricación: Grupo acuario (Panamá)

Material : Fibra de vidrio

Eslora : 22 pies- 6m70

Manga : 6.5 pies - 1m95

Puntal : 3 pies – 0m90

Motor:

Fabricación: Torqeedo (Alemania)

Modelo : Cruise 10.0R Con GPS y Smart Control

Potencia : 10 Kw (20HP Eficiencia)

Energía : Eléctrico

Baterías:

Fabricación: ZGnewenergy Co.,Ltd (China)

Modelo : LiFePO4 Battery with Aluminum Case

Células : 60Ah 3.2v with BMS

Energía : 360Ah 50v

Techo Solar:

Fabricación: Casa de la batería (Panama)

Modelo : Rigid panel 255w

Controlador : Victron MPPT 150/70

Energía : 2kw Max

Accesorios

Consola lateral, timón con rueda, Panel Switch, Panel de control de energía, Bomba de achique automática, Luces de navegación, luces de fondeo, Trim eléctrico, Defensa, Kit de seguridad, cojines, 6 cajones con puertas.

Sol de mi vida es una lancha diseñada por el paseo en las islas y costas.

Según el programa de uso de cada embarcación calculamos el perfil, de potencia motor, tamaño baterías y solución de carga solar o a la red.

Velocidad de crucero de 5.5 nudos con autonomía de 6 a 8 horas.

Velocidad máxima de 7.5 Nudos con autonomía de 2 a horas

Módulo Virtus[®] II

250W, 255W, 260W



Alta eficiencia en conversión



Instalación y manipulación sencillas



Resistencia de carga mecánica de hasta 5400 Pa



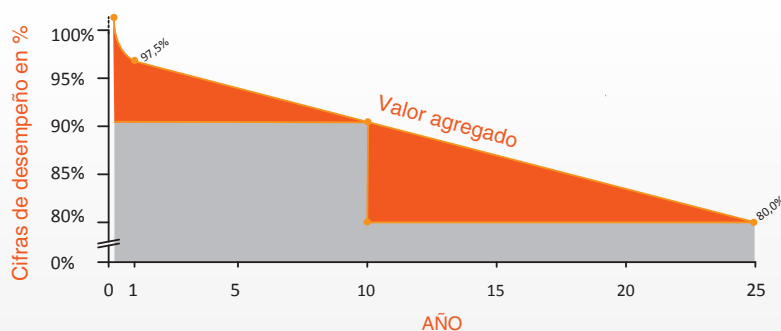
Satisface las normas IEC 61215:2005,
IEC 61730: 2004 y UL 1703 PV



Certificación ISO9001, OHSAS18001, ISO14001



Aplicación Clase A, Seguridad Clase II, Tipo fuego C



10 años
material y mano de obra

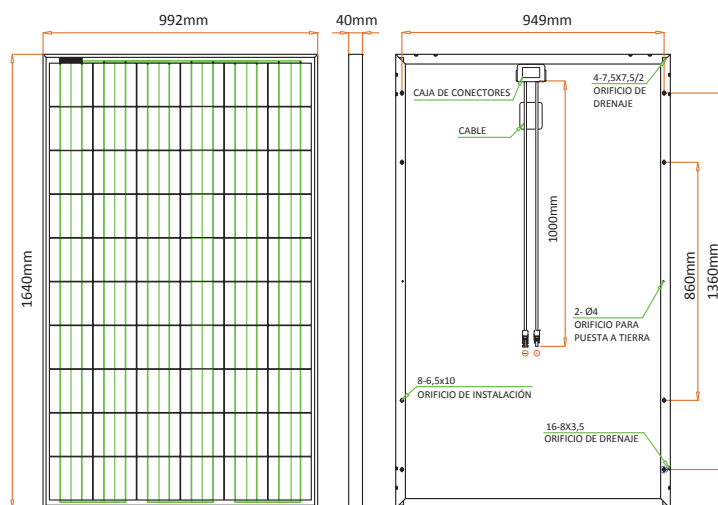
25 años
salida de potencia lineal



PRODUCTO APROBADO

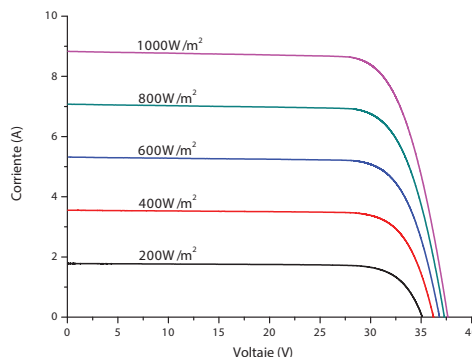


Dimensiones



Plano sólo para referencia

Curvas I-V



Eficiencias diversas de irradiación

Irradiancia	200W/m²	400W/m²	600W/m²	800W/m²	1000W/m²
Eficiencia	15,8%	16,2%	16,2%	16,1%	16,0%

Características eléctricas STC

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Potencia máxima (P _{máx})	250 W	255 W	260 W
Tolerancia del suministro eléctrico	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Eficiencia del módulo	15,4%	15,7%	16,0%
Máxima corriente de suministro (I _{mp})	8,31 A	8,39 A	8,53 A
Máximo voltaje suministro (V _{mp})	30,1 V	30,4 V	30,5 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,83 A	8,86 A	8,95 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	37,4 V	37,5 V	37,6 V
Valores en condiciones estándar de ensayo STC (masa de aire AM 1,5, irradiación 1000 W/m², temperatura de las celdas 25°C)			

Características eléctricas NOCT

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Potencia máxima (P _{máx})	185 W	189 W	193 W
Máxima corriente de suministro (I _{mp})	6,57 A	6,63 A	6,74 A
Máximo voltaje suministro (V _{mp})	28,2 V	28,5 V	28,6 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	7,12 A	7,20 A	7,27 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	35,0 V	35,1 V	35,2 V
Valores a la temperatura normal de funcionamiento de las celdas, irradiancia de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura ambiental 20°C, velocidad del viento 1 m/s			

Características mecánicas

Tipo de celda	Virtus®II (poli cristalino) 156 x 156 mm, 60 (6 x 10) piezas por serie
Cristal	Cristal templado de alta transmisión y bajo contenido de hierro
Gabinete	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conectores	Certificado para IPC65/67, con diodos de derivación
Dimensión	*1640 x 992 x 40 mm
Cable de salida	4 mm² (UE)/12 AWG (EE.UU.), 1000 mm
Peso	18,5 Kg
Ubicación del orificio de instalación	Consulte el plano anterior

Características

Coefficiente de temperatura de V _{oc}	-0,30%/°C
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	0,04%/°C
Coefficiente de temperatura de P _{máx}	-0,40%/°C
Temperatura nominal de operación de la celda (NOCT)	45°C±2°C

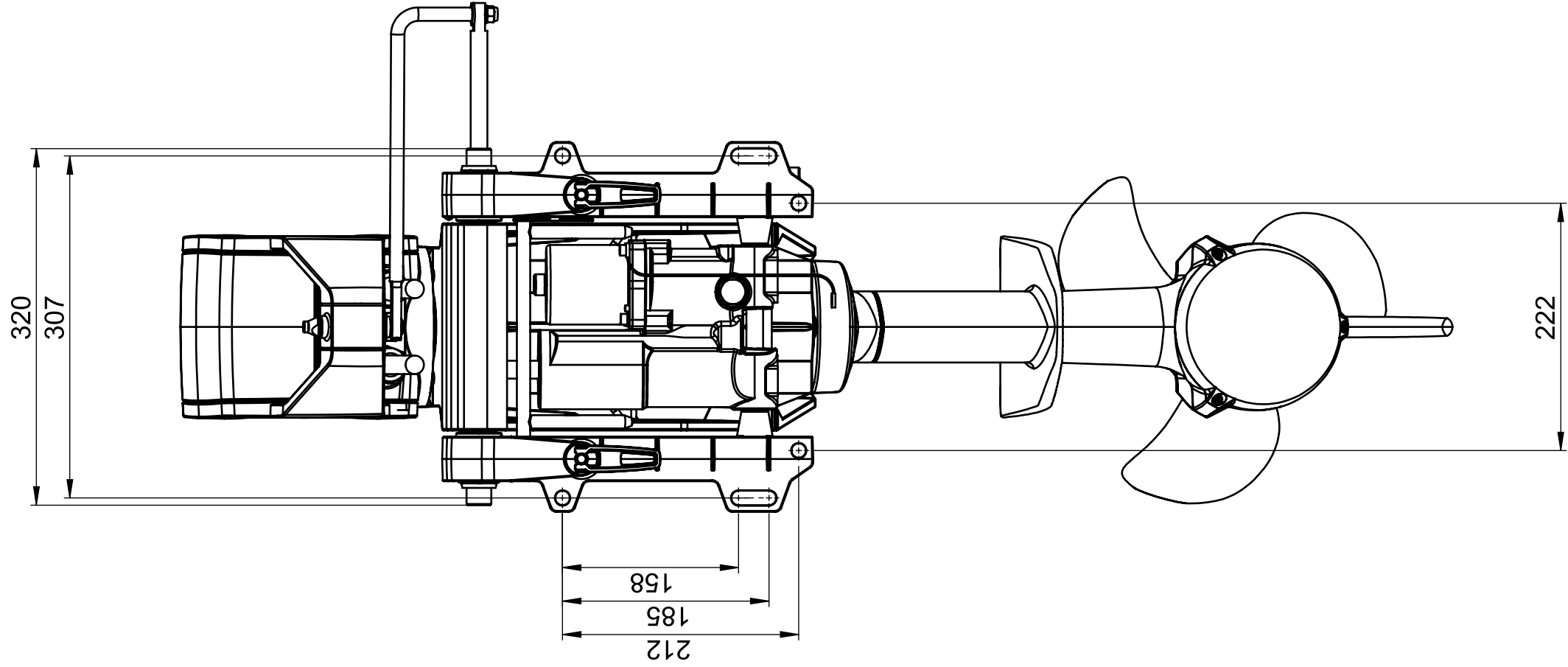
Información de embalaje

Contenedor	20' GP	40' GP	40' HQ
Tarimas por contenedor	12	28	28
Piezas por contenedor	300	700	770

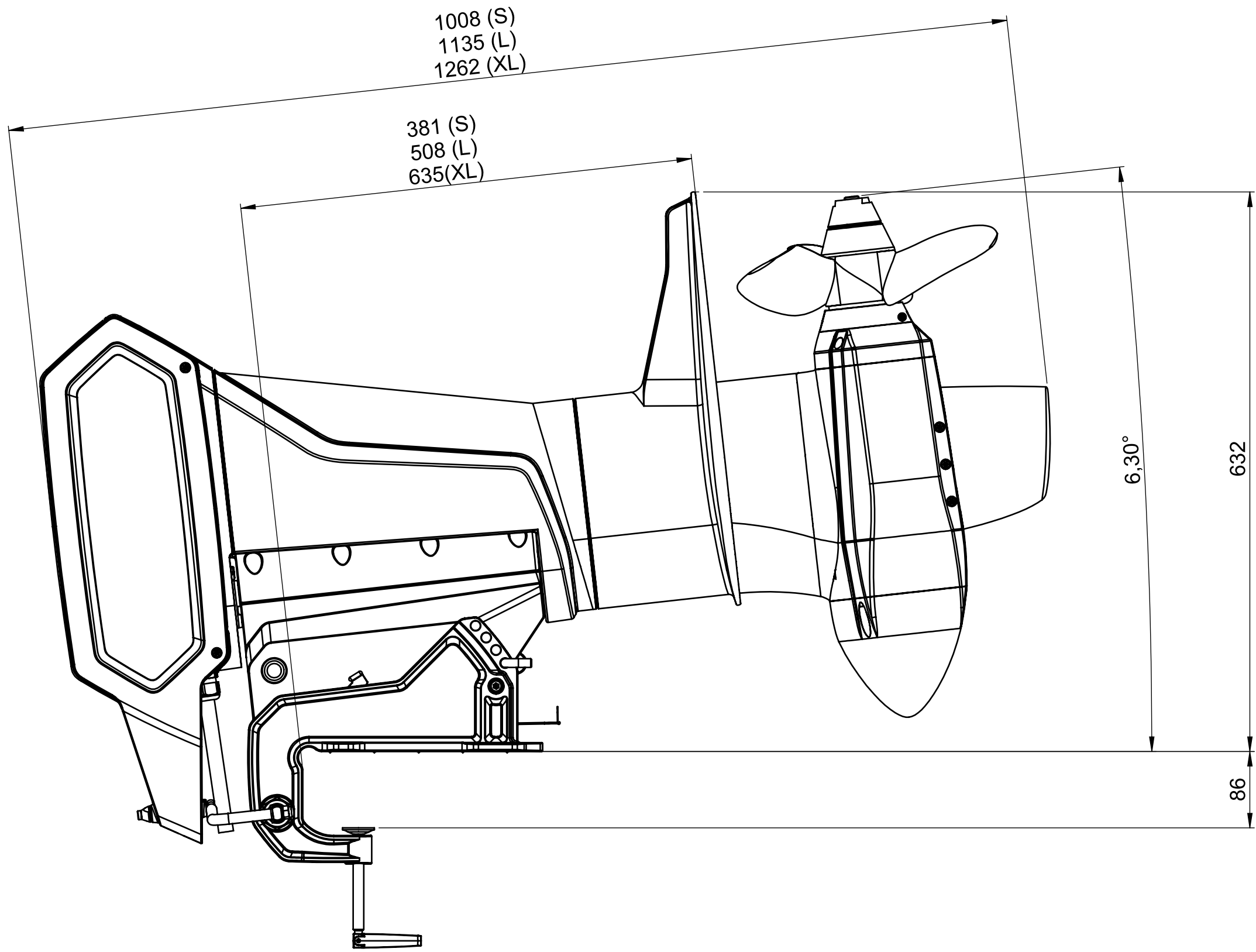
N° de Rev.: JC/TDS/2013.02 *Para la especificación de tolerancia comuníquese con ReneSola
PRECAUCIÓN: Todos los derechos reservados. El diseño y las especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso.

Certificaciones máximas

Temperatura de operación	-40°C ~ +85°C
Voltaje máximo del sistema	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Máxima certificación del fusible serie	20A (EU) / 20A (US)



Trimm Position 1



1008 (S)
1135 (L)
1262 (XL)

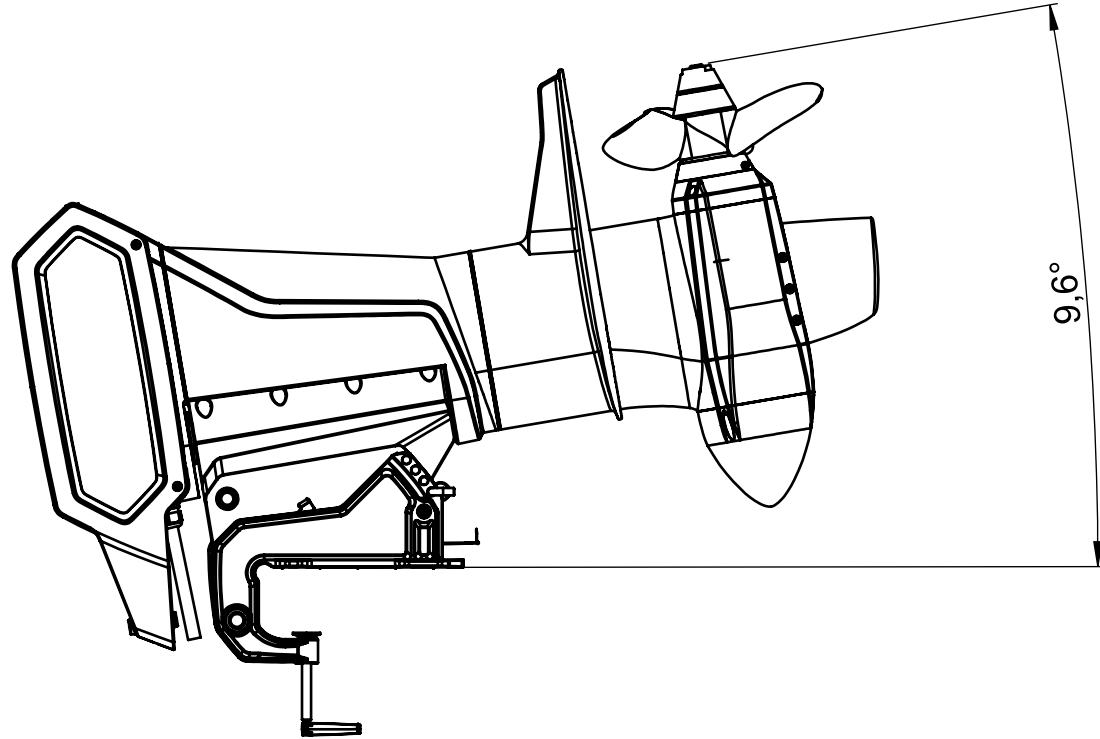
381 (S)
508 (L)
635 (XL)

6.30°

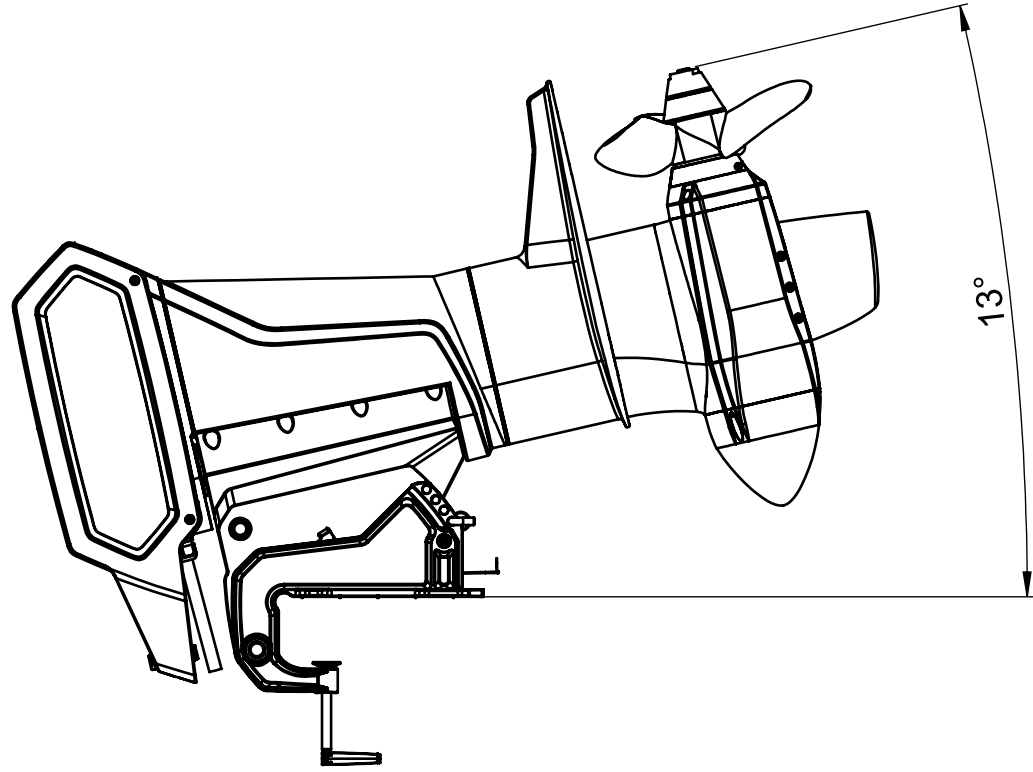
632

86

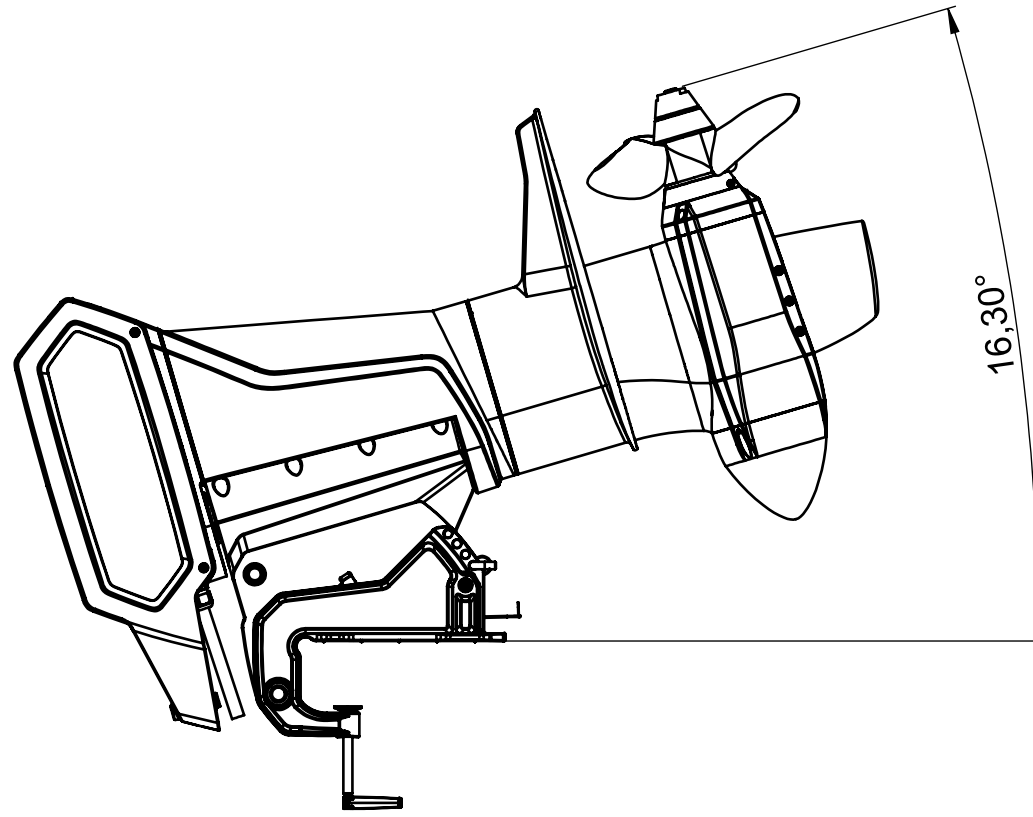
Trimm Position 2



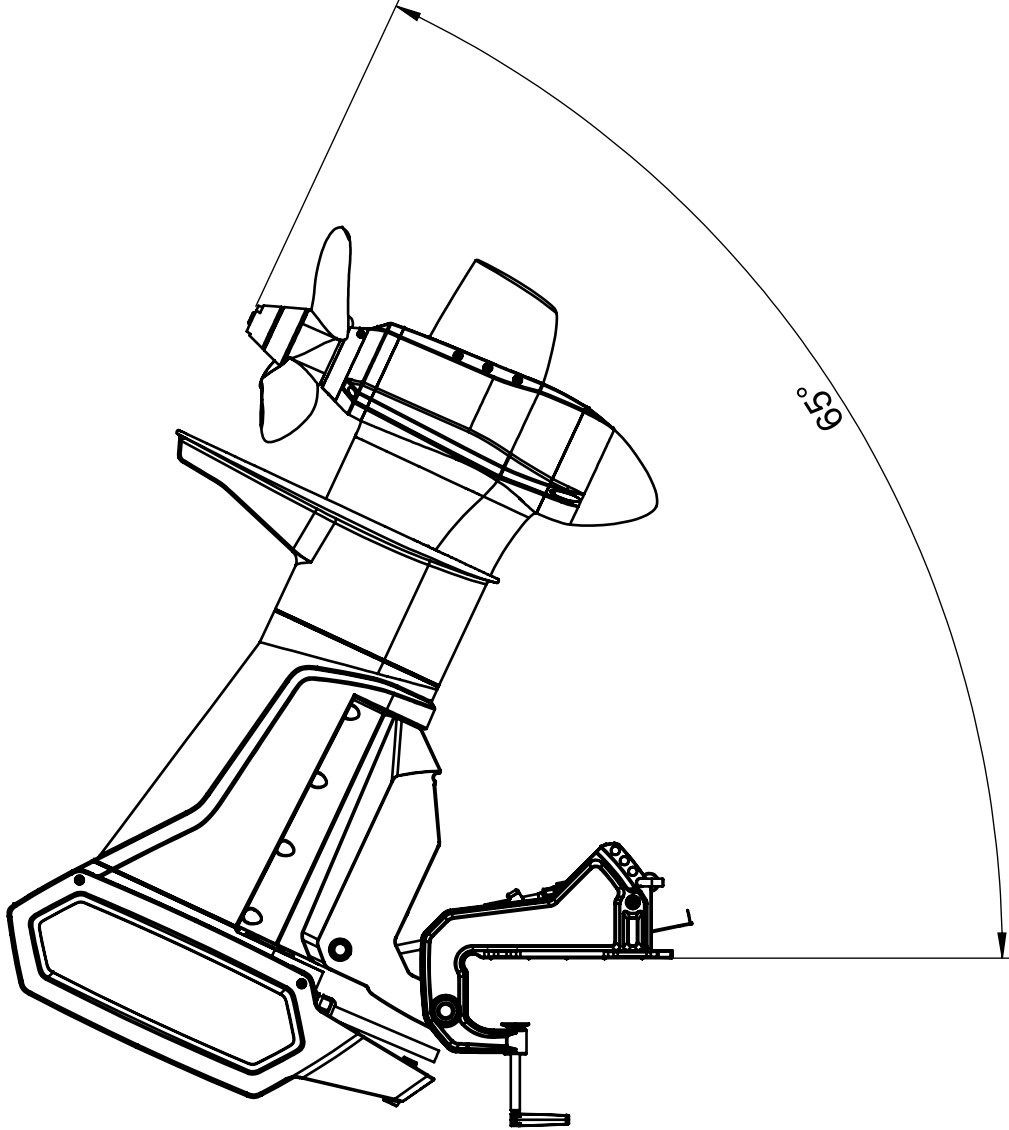
Trimm Position 3



Trimm Position 4



Full Tilt Up



Torqueedo Cruise 10.0

Controlador de carga MPPT 150/70 y 150/85

www.victronenergy.com



**Controladores de carga solar
MPPT 150/70 y 150/85**

Tensión FV hasta 150 V

Los controladores BlueSolar MPPT 150/70- y 150/85 podrán cargar una batería de tensión nominal inferior a partir de unas placas FV de tensión nominal superior.

El controlador ajustará automáticamente la tensión nominal de la batería a 12, 24, 36, ó 48 V.

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT, por sus siglas en inglés).

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección Avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales tienden a seleccionar un MPP local que puede no ser el MPP óptimo.

El innovador algoritmo del BlueSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando en el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

La eficiencia máxima excede el 98%. Corriente de salida completa hasta los 40 °C (104 °F).

Algoritmo de carga flexible

Varios algoritmos preprogramados. Un algoritmo programable.

Ecuación manual o automática.

Sensor de temperatura de la batería. Sonda de tensión de la batería opcional.

Relé auxiliar programable

Para disparar una alarma o arrancar el generador

Amplia protección electrónica

Protección de sobretensión y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa.

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/70	MPPT 150/85
Tensión nominal de la batería	12 / 24 / 36 / 48 V Selección Automática	
Corriente de carga nominal	70A @ 40 °C (104 °F)	85A @ 40 °C (104 °F)
Potencia máxima de entrada de los paneles solares 1)	12 V: 1000 W / 24 V: 2000 W / 36V: 3000 W / 48V: 4000 W	12 V: 1200 W / 24 V: 2400 W / 36 V: 3600 W / 48 V: 4850 W
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo	
Tensión mínima FV	Tensión de la batería más 7 V para arranque Tensión de la batería más 2 V operativos	
Consumo en espera	12 V: 0,55 W / 24 V: 0,75 W / 36 V: 0,90 W / 48 V: 1,00 W	
Eficacia a plena carga	12 V: 95 % / 24 V: 96,5 % / 36 V: 97 % / 48 V: 97,5 %	
Carga de absorción	14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V	
Carga de flotación	13,7 / 27,4 / 41,1 / 54,8 V	
Carga de ecualización	15,0 / 30,0 / 45 / 60 V	
Sensor de temperatura remoto de la batería	Sí	
Ajuste de la compensación de temperatura por defecto	-2,7 mV/°C por celda de batería de 2 V	
Interruptor on/off remoto	No	Sí
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V CA/4 A	Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 V CC, 1 A hasta 60 V CC
Puerto de comunicaciones	VE.Can: dos conectores RJ45 en paralelo, protocolo NMEA2000	
Funcionamiento en paralelo	Sí, a través de VE.Can Máx. 25 unidades en paralelo	
Temperatura de trabajo	-40 °C a 60 °C con reducción de corriente de salida por encima de 40 °C	
Refrigeración	Convección natural	asistida por ventilador silencioso
Humedad (sin condensación)	Max. 95 %	
Tamaño de los terminales	35 mm² / AWG2	
Material y color	Aluminio, azul RAL 5012	
Clase de protección	IP20	
Peso	4,2 kg	
Dimensiones (al x an x p)	350 x 160 x 135 mm	
Montaje	Montaje vertical de pared solo interiores	
Seguridad	EN60335-1	
EMC	EN61000-6-1, EN61000-6-3	

1) Si se conectara más potencia solar, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo estipulado

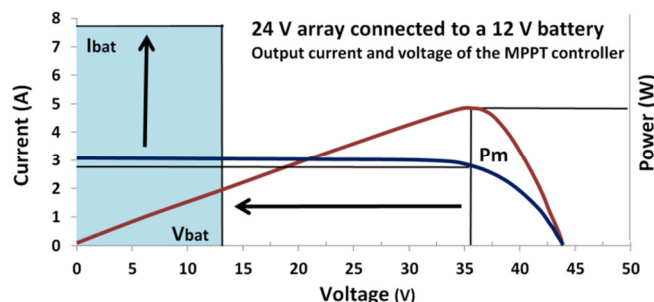
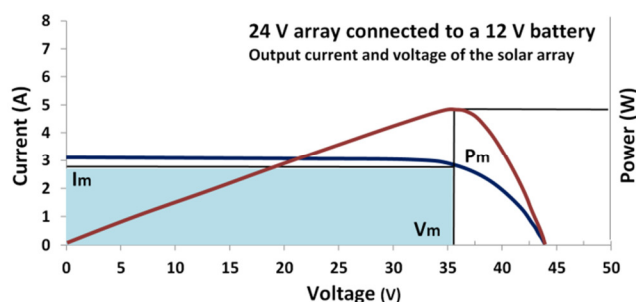
¿Qué controlador de carga solar: PWM o MPPT?

A continuación le ofrecemos un resumen de nuestro libro blanco con este mismo título?

1. Lo que hacen

El controlador PWM es básicamente un interruptor que conecta un conjunto de placas solares a una batería. Como consecuencia, la tensión del conjunto de placas se rebajará casi a la de la batería.

El controlador MPPT es más sofisticado (y más caro): ajustará su tensión de entrada para recoger el máximo de la energía solar de los paneles solares y a continuación transformará esta energía para alimentar las distintas tensiones solicitadas, tanto de la batería como de las cargas. Por lo tanto, lo que hace básicamente es desacoplar las tensiones de las placas y de la batería para que pueda haber, por ejemplo, una batería de 12 voltios por un lado del controlador de carga MPPT, y un gran número de celdas conectadas en serie para producir 36 voltios por el otro.



Representación gráfica de la transformación de DC a DC tal y como lo lleva a cabo un controlador MPPT

2. Las potencias gemelas resultantes de un controlador MPPT

a) Seguimiento del punto de máxima potencia

El controlador MPPT recogerá más energía de los paneles solares. La mejora del rendimiento es sustancial (10 % a 40 %) cuando la temperatura del panel solar es baja (por debajo de 45 °C), o muy alta (por encima de 75 °C), o cuando la irradiación es muy baja.

A alta temperatura o a baja radiación, la tensión de salida del conjunto de paneles solares caerá drásticamente. En estos casos, se deberán conectar más paneles en serie para asegurarse de que la tensión de salida del conjunto de paneles solares excede la tensión de la batería por amplio margen.

b) Costes de cableado más bajos y/o pérdidas por cable más bajas

Según la ley de Ohm, las pérdidas debidas a la resistencia del cable son $P_c \text{ (Watt)} = R_c \times I^2$, donde R_c es la resistencia del cable. Lo que nos dice esta fórmula es que para una pérdida por cable determinada, la sección del cable puede reducirse por un factor de cuatro si se dobla la tensión del conjunto de paneles solares.

En el caso de una potencia nominal determinada, conectar más paneles en serie aumentará la tensión de salida y reducirá la corriente de salida del conjunto de paneles ($P = V \times I$), por lo tanto, si P no cambia, I deberá disminuir cuando V aumente).

A medida que aumente el tamaño del conjunto de placas, la longitud de cable aumentará. La opción de cablear más paneles en serie, disminuyendo así la sección de cable, con lo que eso conlleva en reducción de costes, es una poderosa razón para instalar un controlador MPPT tan pronto como la potencia del conjunto exceda unos cuantos cientos de vatios (baterías de 12 V), o varios cientos de vatios (baterías de 24 V o 48 V).

3. Conclusión

PWM

El controlador de carga PWM es una buena solución para sistemas menores, cuando la temperatura de la placa solar es entre moderada y alta (entre 45 y 75 °C)

MPPT

Para aprovechar al máximo el potencial del controlador MPPT, la tensión del conjunto deberá ser considerablemente superior que la tensión de la batería. El controlador MPPT es la solución definitiva para sistemas de alta potencia, debido al menor coste general del sistema que conlleva la instalación de un cableado de menor sección. El controlador MPPT también recogerá mucha más energía cuando la temperatura del panel solar sea baja (por debajo de 45 °C), o muy alta (por encima de 75 °C), o cuando la irradiación sea muy baja.

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 1/19 Page: 1/19

规 格 书/ Specification 铝壳磷酸铁锂系锂离子电池 LiFePO4 Battery with Aluminum Case

电芯型号 ZG36130185P60Ah

Cell model: ZG36130185P60Ah

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 2/19 Page: 2/19

1、产品类别/ Battery type

本电池为铝壳磷酸铁锂系锂离子电池

This battery is prismatic Lifepo4 battery with Aluminum case

2、型号: 本规格书适用于 ZG36130185P60Ah 型号电池。

Model: This specification is for ZG36130185P60Ah model battery.

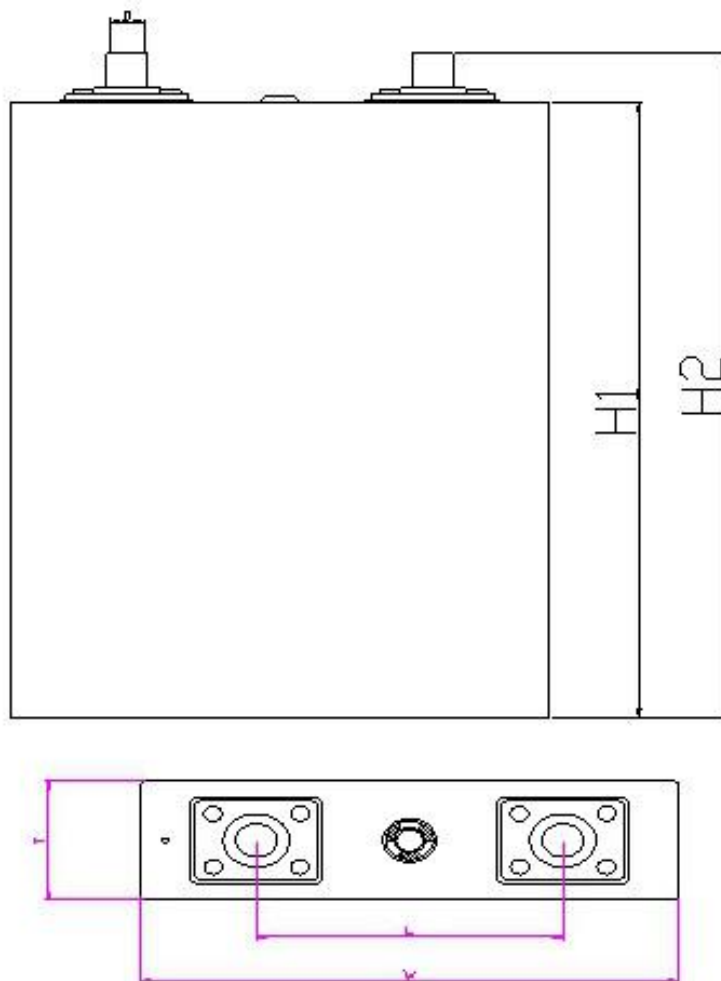
3、产品规格参数/ Specification

项 目/ Item		性能/ Spec	备注/Remarks
3.1 额定容量/ Rated Capacity		60Ah	1/3C Discharge
3.2 额定电压/ Rated voltage		3.2V	
3.3 放电截止电压/ Cut off voltage		2.0V	
3.4 标准充电方式/ Rated charge model		恒流恒压/ CC/CV	0℃~40℃
3.5 标准充电电流/ Rated charge current		20A (1/3C)	
最大充电电流/ Max charge current		90A (1.5C)	Continuous
3.6 标准充电电压/ Rated charge voltage		3.65V	-20℃~60℃
3.7 标准放电电流/ Rated discharge current		20A (1/3C)	
最大放电电流/ Max discharge current		180A (3C)	Continuous
3.8 内阻/ Impedance		≤2mΩ	
3.9 重量/ Weight		≤1685g	
3.10 环境温度 Environment Temp	充电/ Charge	0℃~50℃	
	放电/ Discharge	-20℃~60℃	
3.11 贮存温度 Storage Temp	1 个月以内/ In 1 Month	-20℃~60℃	相对湿度 45%~ 75%/ relative humidity 45%~ 75%
	三个月以内/ In 3 Month	-20℃~45℃	
	一年以内/ In 1 year	-5℃~30℃	

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 3/19 Page: 3/19

4 尺寸和外观/ Dimension & Surface

4.1 电池外型图及尺寸/ Drawing and dimension:



尺寸规格/ Dimension:

H1 (不包括极柱)	185.6 ± 0.5 (mm)	H2 (包括极柱)	200.0 ± 0.5 (mm)
T (厚度/ Thickness)	36.0 ± 0.2 (mm)	W (宽度/ Width)	130.0 ± 0.2 (mm)
D (极柱中心距/ Pole central distance)	74.0 ± 0.2 (mm)	Φ (Pole diameter)	10.0 ± 0.1 (mm)

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 4/19 Page: 4/19

4.2 外观/ ASurface

电池外表面清洁, 无电解液泄漏, 无明显的划痕及机械损伤, 无变形, 无影响电池价值的其他外观缺陷。

Clean, no leakage, no obvious scratches and damage, not out of shape, no other damage affect value of battery.

5 性能/ Performance

5.1 标准测试条件/ Standard test

测试电池必须是本公司出厂时间不超过一个月的新电池, 且电池未进行过五次以上充放电循环。除另有规定外, 试验应在温度为 $20\sim 35^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $25\sim 85\%$, 大气压力为 $86\text{KPa}\sim 106\text{kPa}$ 的环境中进行。

It must be new battery within 1 month since date of production, and within 5 charge and discharge cycles. Test condition is temperature $20\sim 35^{\circ}\text{C}$, relative humidity $25\sim 85\%$, atmospheric pressure $86\text{KPa}\sim 106\text{kPa}$, except special test condition.

5.2 测试设备要求/ Test equipment requirement.

- (1) 测量尺寸的仪器精度应大于等于 0.01mm ; / Dimension: precision $\geq 0.01\text{mm}$
- (2) 电压表测量装置: 准确度不低于 0.5 级, 其内阻至少为 $1\text{K}\Omega/\text{V}$; / Voltage: precision is over 0.5 grade, impedance is $1\text{K}\Omega/\text{V}$ at least.
- (3) 电流测量装置: 准确度不低于 0.5 级; / Current: precision is over 0.5 grade.
- (4) 温度测量装置: 具有适当的量程, 其分度值不大于 1°C , 标定准确度不低于 0.5°C ; / Temperature: suitable Temp range, each grade $\leq 1^{\circ}\text{C}$, precision $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$.
- (5) 内阻测试使用 AC 1Khz 检测方法, 检测仪准确度不低于 0.5 级。/ Impedance: use AC 1KHZ test mothed, precision is over 0.5 grade.
- (6) 电池测试系统的电流精度应在 $\pm 0.1\%$ 以上, 恒压精度 $\pm 0.5\%$, 计时精度不低于 $\pm 0.1\%$ 。 / Test system: current $> \pm 0.1\%$, voltage $\pm 0.5\%$, time $\geq 0.1\%$.

5.3 标准充电/ Standard charge

在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下, 电池以 20A 电流放电, 至电池电压达到 2.0V 时停止放电, 静置 60 分钟, 然后在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下以 20A 电流恒流充电, 至电池电压达到 3.65V 时转恒压充电, 至充电电流降至 0.6A 时停止充电。充电后静置 1 小时。

Discharge at $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, with 20A to 2.0V, stop, rest for 60 min, then charge at $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, with 20A to 3.65V, turn to CV charge, stop charging when charge current reach 0.5A, rest 1 hour.

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 5/19 Page: 5/19

5.4 电池电化学性能/ Electrochemistry performance		
类别/ Item	测试方法/ Test method	判定标准/ Standard
20℃放电容量/ Discharge capacity at 20℃	按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 20℃±5℃ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V。如果放电容量不满足规格要求, 重复 5.3 充电和放电步骤, 直至放电容量满足规格要求, 允许 5 次。/ Charge as 5.3, discharge with 20A at 20℃±5℃ to 2.0V, stop. If discharge capacity can not meet the spec, repeat 5.3 and discharge step until meet the spec, within 5 times.	100%≤放电容量/ 额定容量≤110% 100%≤discharge capacity/ rated capacity≤110%
-20℃放电容量/ Discharge capacity at -20℃	按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在-20℃±2℃ 下储存 20h, 电池在-20℃±2℃ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V。 Charge as 5.3, then store the battery at -20℃±2℃ 20 hours, discharge with 20A at -20℃±2℃ to 2.0V, stop.	放电容量/额定容量≥60% Discharge capacity/ rated capacity≥60%
55℃放电容量/ Discharge capacity at 55℃	按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 55℃±2℃ 下储存 5h, 电池在 55℃±2℃ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V。 Charge as 5.3, then store the battery at 55℃±2℃ 5 hours, discharge with 20A at 55℃±2℃ to 2.0V, stop.	放电容量/额定容量≥95% Discharge capacity/ rated capacity≥95%

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 6/19 Page: 6/19

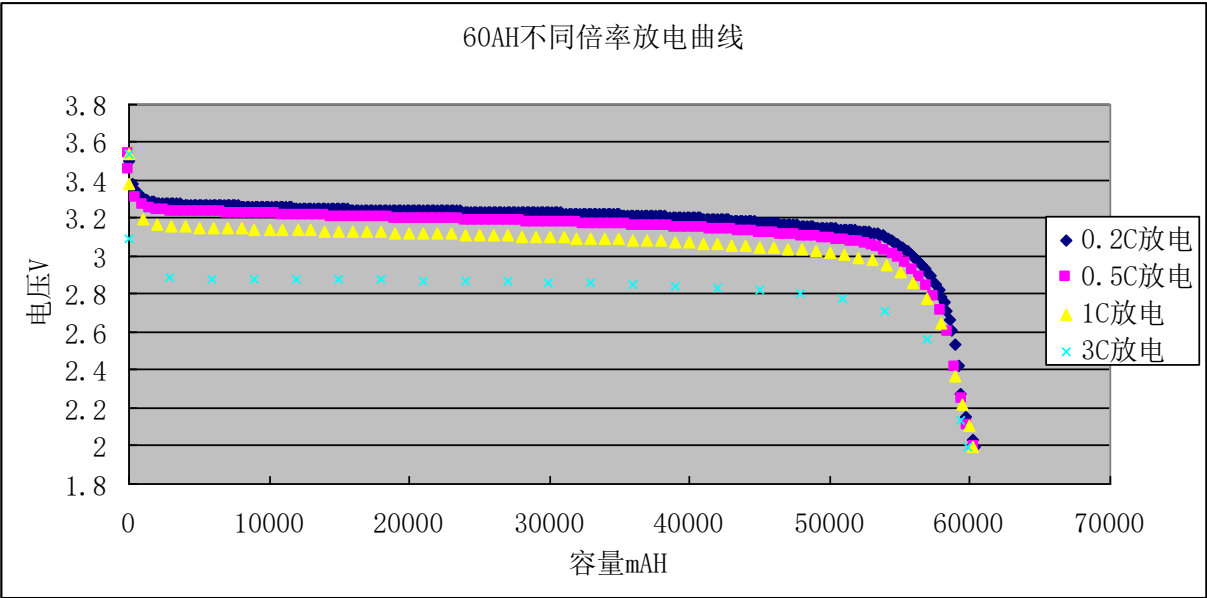
常温荷电保持与容量恢复能力/ Capacity keep ability in normal temp	<p>按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 储存 28d, 然后在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V, 放电容量与额定容量比值为荷电保持能力。</p> <p>然后再按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V, 放电容量与额定容量比值为容量恢复能力。</p> <p>Charge as 5.3, then store the battery at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 28 days, discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ to 2.0V, stop. The ratio discharge capacity/rated capacity is called capacity keep ability.</p> <p>Then recharge as 5.3, discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ to 2.0V, stop. The ratio discharge capacity/rated capacity is called capacity recovery ability.</p>	荷电保持能力 $\geq 90\%$ 容量恢复能力 $\geq 95\%$ Capacity keep ability $\geq 90\%$ Capacity recovery ability $\geq 95\%$
高温荷电保持与容量恢复能力/ Capacity keep ability in high temp	<p>按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 储存 7d, 然后在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下恢复 5h 后, 以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V, 放电容量与额定容量比值为荷电保持能力。</p> <p>然后再按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V, 放电容量与额定容量比值为容量恢复能力。</p> <p>Charge as 5.3, then store the battery at $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 7 days, then rest at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 5hours, discharge with 20A to 2.0V, stop. The ratio discharge capacity/rated capacity is called capacity keep ability.</p> <p>Then recharge as 5.3, discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ to 2.0V, stop. The ratio discharge capacity/rated capacity is called capacity recovery ability.</p>	荷电保持能力 $\geq 90\%$ 容量恢复能力 $\geq 95\%$ Capacity keep ability $\geq 90\%$ Capacity recovery ability $\geq 95\%$

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 7/19 Page: 7/19

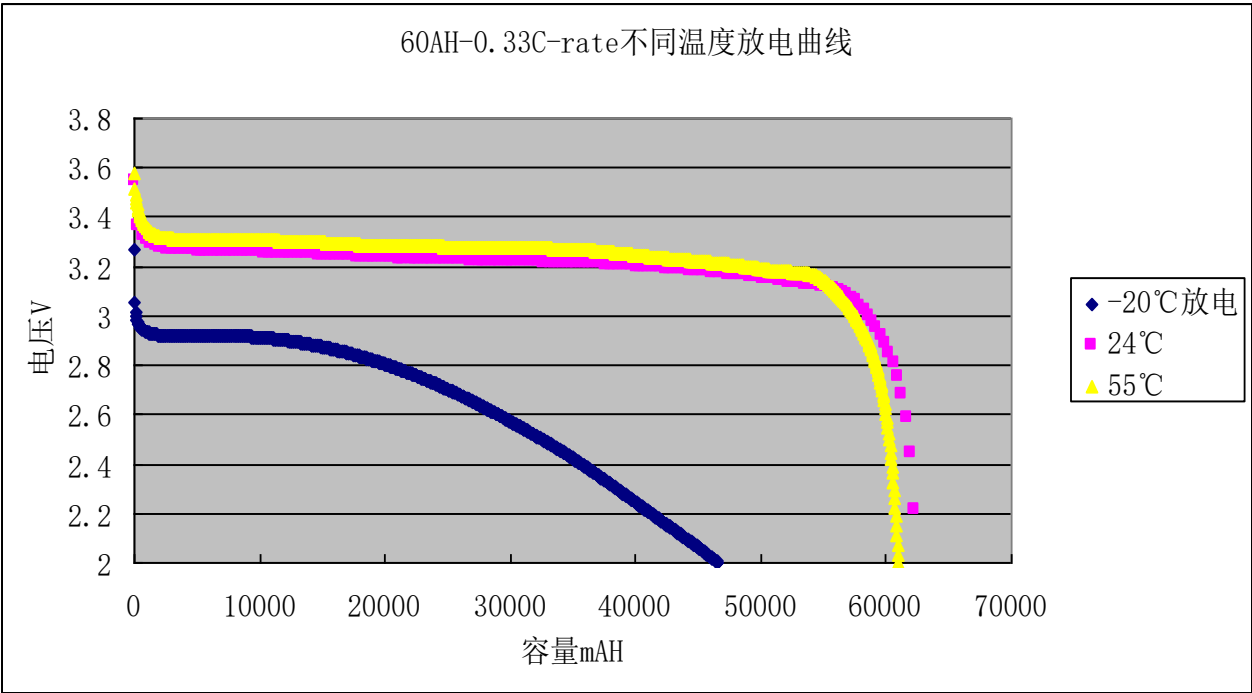
储存/ Storage	<p>按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电 2h 后在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下储存 90d, 再按照 5.3 充电要求进行充电, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V。如果放电容量与额定容量比值$\leq 95\%$, 可以再按照 5.3 充电要求进行充电, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直到放电终止电压达到 2.0V, 最多可以重复 5 次。</p> <p>Charge as 5.3, then discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 2hours, then store the battery at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 90 days, then recharge as 5.3, discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ to 2.0V, stop. If the ratio discharge capacity/rated capacity$\leq 95\%$, repeat 5.3 and discharge step until meet the spec, within 5 times.</p>	<p>放电容量/额定容量$\geq 95\%$</p> <p>Discharge capacity/ rated capacity$\geq 95\%$</p>
循环性能/ Cycle life	<p>恒流 25A 充电至 3.65V; 转恒压 3.65V 充电至 1.00A, 充电后搁置 10 分钟, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 25A 电流放电至电池电压达到 2.0V 时停止放电, 再静置 10 分钟, 再进行下一个充放电循环。</p> <p>Charge with 25A to 3.65V, turn to CV charge, stop charging when charge current reach 1A, rest 10min, discharge in $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, with 25A to 2.0V, rest 10min, then repeat.</p>	<p>2000 次循环后: 放电容量/额定容量$\geq 80\%$</p> <p>After 2000 cycles, discharge capacity/ rated capacity$\geq 80\%$</p>

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 8/19 Page: 8/19

5. 4. 1 不同倍率放电曲线/ Discharge curve with different discharge rate

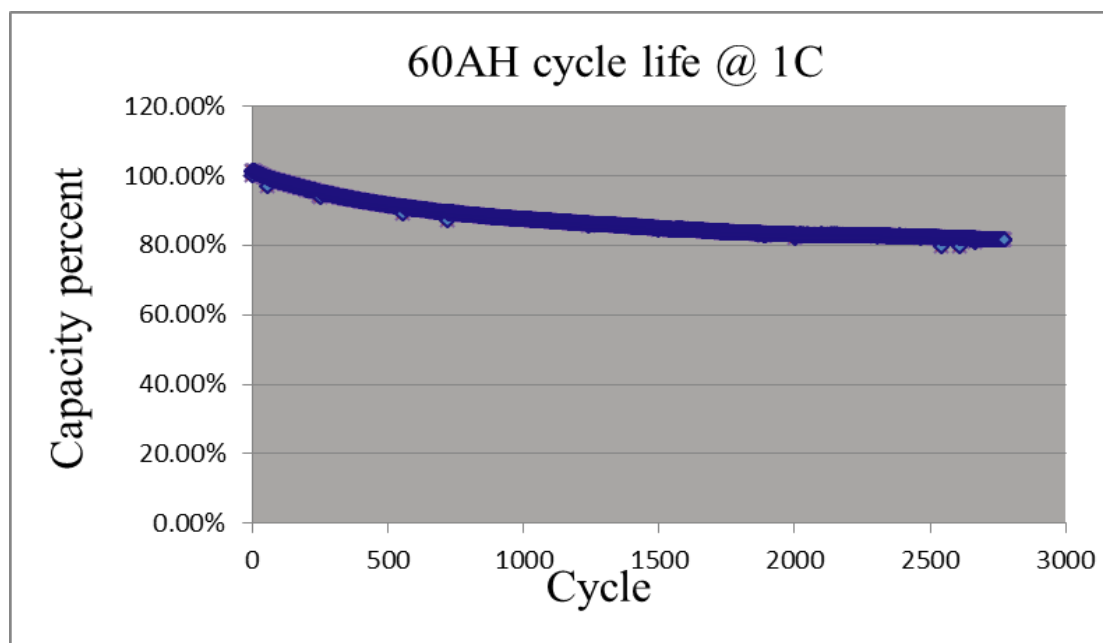


5. 4. 2 不同温度放电曲线/ Discharge curve with different temperature



绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 9/19 Page: 9/19

5.4.3 寿命循环 (0.5C 充放) 曲线/ Cycle life curve (0.5C charge/ discharge)



5.5 电池安全性能/ Battery safety performance

类别/Item	测试方法/ Test method	判定标准/ Standard
过放电试验 Over discharge test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下以 20A 电流放电, 直至电池电压达到 0V。/ Charge as 5.3, discharge with 20A at $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ to 0V, stop.	电池不爆炸、不起火、不漏液 No explosion, no fire, no leakage

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 10/19 Page: 10/19

过充电试验 Over charge test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 以 50A 电流充电, 至电池电压达到 5V 或充电时间达到 90min(其中一个条件优先达即停止试验)/ Charge as 5.3, then still charge with 50A current , until the voltage of battery reach 5V or charge 90min, which meet firstly, then stop.	电池不爆炸、不起火 No explosion, no fire
短路试验 Short circuit test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 将电池经外部短路 10min, 外部线路电阻应小于 5 mΩ。 Charge as 5.3, then make the battery external short circuit 10min, impedance of external short circuit <5 mΩ .	电池不爆炸、不起火 No explosion, no fire
跌落试验 Fall down test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 电池在 20℃±5℃下, 从 1.5m 高度处自由跌落到厚度为 20mm 的硬木地板上, 每个面 1 次。/ Charge as 5.3, at 20℃±5℃, then drop the battery from 1.5m height to a hard wooden board, one time each side..	电池不爆炸、不起火、不漏液 No explosion, no fire, no leakage
加热试验 Heating test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 将电池置于 85℃±2℃ 恒温箱内, 并保温 120min。 Charge as 5.3, then store the battery at 85℃±2℃ 120min.	电池不爆炸、不起火 No explosion, no fire
挤压试验 Crush test	按照 5.3 充电要求进行充电后, 按下列条件进行试验: 1) 挤压方向: 垂直于电池极板方向施压。 2) 挤压头面积: 不小于 20cm ² 。 3) 挤压程度: 直至电池壳体破裂或内部短路(电池电压变为 0V) Charge as 5.3, then test as follow: Direction: perpendicular to battery plate Area: ≥20cm ² Extent: Until the battery case broken or internal short circuit (voltage of battery to be 0V)	电池不爆炸、不起火 No explosion, no fire

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 11/19 Page: 11/19

针刺试验 Acupuncture test	<p>按照 5.3 充电要求进行充电后, 用 $\Phi 3\text{mm} \sim \Phi 8\text{mm}$ 的耐高温钢针、以 $10\text{mm/s} \sim 40\text{mm/s}$ 的速度, 从垂直于电池极板的方向贯穿(钢针停留在电池中)。</p> <p>Charge as 5.3, use the nails $\Phi 3\text{mm} \sim \Phi 8\text{mm}$ to puncture the battery completely with $10\text{mm/s} \sim 40\text{mm/s}$ at the direction perpendicular to battery plate (nails stay in the battery).</p>	电池不爆炸、不起火 No explosion, no fire
振动测试 Vibration Test	<p>按照 5.3 充电结束后, 将电芯用夹具安装在振动台的台面上, 按下面的振动频率和对应的振幅调整好实验设备。X、Y、Z 三个方向每个方向上从 $10 \sim 55\text{Hz}$ 循环扫频振动 30min, 扫频速率为 1oct/min:</p> <p>振动频率: $10\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ 位移幅值(单振幅): 0.38mm; 振动频率: $30\text{Hz} \sim 55\text{Hz}$ 位移幅值(单振幅): 0.19mm</p> <p>Charge as 5.3, charged in accordance with 6.2, then installed onto the vibration desk with clamps. Equipment parameters of frequency and amplitude are as follows(the frequency is to be varied at the rate of 1oct/min between 10 and 55 HZ, and repeat vibration for 30min. The cell is to be tested in three mutually perpendicular directions):</p> <p>frequency: $10\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ amplitude: 0.38mm frequency: $30\text{Hz} \sim 55\text{Hz}$ amplitude: 0.19mm</p>	电池不爆炸、不起火、不漏液 No explosion, no fire, no leakage

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 12/19 Page: 12/19

碰撞测试 Shock Test	<p>按 5.3 充电结束后, 将电池分别按 X、Y、Z 三个互相垂直轴通过夹具固定在振动台面上, 按下述要求调好加速</p> <p>度, 脉冲持续时间进行碰撞实验: 脉冲峰值加速度: 100m/s², 每 min 碰撞次数: 40~80, 脉冲持续时间: 16ms, 碰撞次数: 1000 ±10</p> <p>Charge as 5.3, then secured to the testing machine by means of rigid mount which supports all mounting surfaces of the cell. Each cell shall be subjected to a total of three shocks of equal magnitude. The shocks are to be applied in each of three mutually perpendicular directions. The acceleration and impulse time are as follows: acceleration of impulse peak value: 100m/s², shock frequency: 40~80times/min, impulse lasting time: 16min, Shock times: 1000 ± 10.</p>	<p>电池不爆炸、不起火、不漏液</p> <p>No explosion, no fire, no leakage</p>
--------------------	---	---

6 贮存/ Storage

电池应贮存在环境温度为-5℃~35℃的清洁、干燥通风的室内, 应避免与腐蚀性物质接触, 应远离火源及热源。/ Store the battery in clean, dry room, at -5℃~35℃, keep away from fire, heating and corrosive substances.

电池在贮存过程中每六个月充电一次。/ Charge the battery each 6 months.

电池的加工过程中使用库存电芯和电池交货出库时, 均应该遵循“先进先出”的原则。/ When use the battery or delivery battery to customer, should do as the principle using the earlier battery firstly.

电池从入库之日起, 保存期限为 12 个月, 超过贮存期限的产品必须重新进行逐批检查, 合格后才能交付订货方。/ Store period is 12 month since the battery is storage, once it is over 12 month, you can not delivery to customer until it is tested qualified.

7 标志和包装/ Sign and Package

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 13/19 Page: 13/19

7.1 包装/ Package

每个电池都应有包装盒。包装有两种：简易盒和独立外包装盒。简易盒内只须附有产品检验合格证；独立外包装盒上应注明制造厂名、厂址、邮编及联系电话，包装盒内还必须附有产品检验合格证和产品使用说明书。/ Each battery has package. There are 2 types of package, simple package and individual external package. There should be certificates inside the simple package. Individual external package should include company name, company address, post code and phone No. There must be certificates and instruction.

装有电池产品的包装盒应放在干燥、防尘、防潮的包装箱内。/ The package with battery should be put in dry, dustproof and dampproof package box.

包装箱外应标明产品名称、型号、数量、毛重、制造厂商及其联络地址、出厂日期，还应有“小心轻放”、“怕湿”、“向上”等必要标志。其包装储运图示标志应符合 GB191—2000 的规定。/ The package box should indicate product name, model, quantity, weight, manufacturer, address and data, also with indication of “HANDLE WITH CARE”, “KEEP AWAY FROM MOISTURE”, “THIS SIDE UP” and so on. The package and indications should be as GB191—2000.

7.2 标志/ Indication

每个电池上应有下列中文标志：产品名称、型号、标称电压、额定容量、充电限制电压、执行标准编号、正负极性、商标和警示说明、以及制造日期、批号、制造厂名（或包括以上数据的串号）。/ Each battery should include following Chinese indications: product name, model, rated voltage, rated capacity, charge voltage, standard No., positive and negative, trade mark, warning, data, production No, manufacturer

8 安全规程和使用说明/ Safe and use indication

8.1 推荐使用事项/ Notice

8.1.1 使用电池前，请仔细阅读使用说明书和电池表面标识。/ Pls read the safe and indication before using the battery.

8.1.2 请在正常的、室内环境中使用电池。温度：-20~+35℃，相对湿度：65±20%。/

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 14/19 Page: 14/19

Pls use in normal and indoor environment. Temp: -20~+35°C, relative humidity: 65±20%.

8.1.3 在使用过程中,应远离热源、高压,避免儿童玩弄电池。切勿摔打电池。

本电池只能使用配套充电器充电。不要将电池放在充电器中充电超过 24h。/ When using, pls keep away from heat, high voltage, and children. Do not beat, battery. Only charge the battery with compatible charger. Usually, do not charge the battery over 24h.

8.1.4 切勿将电池正负极短路,切勿自己拆装电池,也勿让电池受潮,以免发生危险。
/ Do not make the positive and negative short circuit, do not open and assemble battery by yourself, keep away from moisture, avoid danger.

8.1.5 长期不用时,请将电池储存完好。让电池处于半荷电状态,即不充满,也别放完。请用不导电材料包裹电池,以避免金属直接接触电池,造成电池损坏。将电池保存在阴凉干燥处。/ When do not use battery for a long time, pls store battery well. Keep battery with half capacity. Do not cover battery with electric material. Store the battery in dry and clean condition.

8.1.6 废弃电池请安全妥当处理,不要投入火中或水中。/ Pls take the disused battery well, do not put into fire or water.

8.2 危险警告/ Warning

8.2.1 禁止拆装电池。/ Do not open and assemble battery.

不合适的拆装将会损坏保护功能,将会造成电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ Open and assemble the battery in wrong way, it would damage battery protect system, cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.2.2 禁止让电池短路。/ Do not make the battery short circuit.

不要将电池的正负极用金属连接,也不要将电池与金属放在一起存储和移动。如果电池被短路,将会有超大电流流过,将会损坏电池,造成电池发热、冒烟、变形或燃烧。
/ Do not connect positive and negative pole with metal, do not store and move the battery with metal. If battery short circuit, there will be too big current, make battery damage, cause battery heating, smoking, distortion and burning.

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 15/19 Page: 15/19

8. 2. 3 严禁加热和焚烧电池/ Do not heat and burn battery

加热和焚烧电池将会造成电池隔离物的熔化、安全功能丧失或电解质燃烧。过热就会使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ Heating and burning battery make the separator melt, dangerous, electrolyte burning. High temperature cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8. 2. 4 避免在热源附近使用电池/ Keep away from heat source.

不要在火源、烤炉附近或超过 80°C 的环境中使用电池。过热将会导致电池内部短路, 使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ Do not use battery near fire, stove or at the temperature over 80°C. High temperature make the battery internal short circuit, cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8. 2. 5 禁止弄湿电池/ Do not make battery wet.

不要弄湿电池, 更不能将电池投入水中。否则会造成电池内部保护电路功能丧失和发生不正常的化学反应, 电池有可能发热、冒烟、变形或燃烧。/ Do not make battery wet, and put battery into water. Or it will make battery internal protect system failed and aberrant chemical reaction, may cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8. 2. 6 避免在火源附近或阳光直射下充电/ Keep away from fire and sunlight, when charge.

不要在火源附近或阳光直射下充电, 否则会造成电池内部保护电路功能丧失和发生不正常的化学反应, 电池有可能发热、冒烟、变形或燃烧。/ Charge near fire and under sunlight, may make battery internal protect system failed and aberrant chemical reaction, may cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8. 2. 7 使用专用充电器和正确充电/ Use compatible charger and charge battery correctly.

使用非专用充电器给电池充电, 会发生危险。在不正常的条件下充电会造成电池内部保护电路功能丧失和发生不正常的化学反应, 电池有可能发热、冒烟、变形或燃烧。/ It is dangerous when use incompatible charger. Charge battery in wrong way, may make battery internal protect system failed and aberrant chemical reaction, may cause battery

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 16/19 Page: 16/19

heating, smoking, distortion and burning.

8.2.8 禁止破坏电池/ Do not broke battery

禁止用金属凿入电池、锤打或摔打电池、或其他方法破坏电池, 否则会造成电池发热、冒烟、变形或燃烧, 甚至会发生危险。/ Do not puncture battery with metal, heat battery or broke battery in other way, or it will cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.2.9 禁止在电池上直接焊接/ Do not weld on battery directly.

过热将会造成电池隔离物的融化、安全保护功能丧失, 使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ High temperature make the separator melt and battery protect system failed, cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.2.10 严禁将电池直接接在电源插座或车载点烟器上充电/ Do not charge battery with AC plug or car cigarette lighter directly.

高压、大电流将会流过电池而使其损坏, 或使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ High temperature and big current may make the battery damage, or cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.2.11 不可将电池用于其他设备/ Do not use battery for other equipment.

不合适的使用条件会损坏电池的性能、降低寿命, 甚至会使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ Use battery in wrong way may damage battery performance and reduce battery cycle life, even cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.2.12 不要直接接触及漏液电池/ Do not touch leakage battery.

渗漏的电解液会造成皮肤不适。万一电解液进入眼睛, 尽快用清水冲洗, 不可揉眼, 并迅速送医院处理。/ Leakage would make skin uncomfortable. Once leakage is in the eyes, pls wash eyes with clean water quickly, do not rub, and go the hospital asap.

8.3 警告/ Warning

8.3.1 不可与其它电池混用/ Do not use this battery with other battery together.

电池不可与其它类型的一次或二次电池混用, 否则会因为不正常的充、放电造成电

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 17/19 Page: 17/19

池发热、冒烟、变形或燃烧。/ Do not use this battery with other primary cell or rechargeable battery, or charge battery in wrong way, may cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.3.2 将电池远离孩童/ Keep battery away from children.

将电池置于孩童不能得到的地方, 以避免孩童噬咬或吞咽电池。如果吞咽了电池, 应迅速送医院处理。/ Put battery on the place children can not reach, avoid children chew and swallow, if swallow, go to hospital asap.

8.3.3 不可长期置于充电器上/ Do not charge battery for a long time.

如果超过正常充电时间很长时间充电器仍在充电, 应停止充电。不正常的充电有可能会使电池发热、冒烟、变形或燃烧。/ If still charge battery when over normal charging time, stop charge quickly. Charge battery in wrong way, may cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.3.4 不可置于微波炉或其他压力容器中/ Do not put battery into microwave or other pressure vessel.

瞬间加热或结构损坏会使电池发热、冒烟、变形或燃烧。Instant heating or break structure, cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.3.5 漏液电池不可近火/ Keep leakage battery far away from fire.

假如发现电池漏液(或有异味), 应让电池远离火源。否则, 渗漏的电解液会着火, 甚至造成其它危险。/ If battery leakage (or peculiar smell), should keep away from fire. Or leakage would get fire, even other danger.

8.3.6 不可使用不正常电池/ Do not use abnormal battery

假如发现电池有异味、变形、变色或扭曲, 应让电池离开负载或充电器并弃用。使用不正常的电池会发热、冒烟、变形或燃烧。/ If battery is peculiar smell, distortion, discolor, pls move battery away from load or charger, then keep battery. Use abnormal battery may cause battery heating, smoking, distortion and burning.

8.4 注意事项/ Notice

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 18/19 Page: 18/19

8.4.1 在强阳光下使用电池/ Use battery under sunlight.

请不要在强阳光曝晒的环境下使用电池, 以免发热、变形、冒烟。至少避免电池性能下降、减少寿命。/ Pls do not use battery under strong sunlight, avoid heating, smoking, distortion. At least avoid damaging battery performance and making battery cycle life shorter,

8.4.2 防静电/ Electrostatic prevention

电池中装有保护电路可以避免各种意外情况的发生。不要在产生静电的场所使用电池, 因为静电(99V 以上)容易损坏保护板, 而导致电池工作不正常, 发热、变形、冒烟或起火燃烧。There is battery management system inside battery, avoid accident. Do not use battery in electrostatic environment, electrostatic (>99V) would damage BMS, cause battery work abnormally, battery heating, smoking, distortion and burning.

8.4.3 充电温度范围/ Charge temperature range

推荐的充电温度范围是 0~40℃。在超出此范围的环境中充电有可能造成电池性能下降、减少寿命。/ Recommended charge temperature is 0~40℃. If charge temp is over this temp range, it would damage battery performance and reduce battery cycle life

8.4.4 使用手册/ Handbook

在使用电池之前, 请仔细阅读使用手册并经常在需要时阅读。/ Before use battery, pls read handbook carefully and read it normally when need.

8.4.5 充电方式/ Charge mothed

请使用专用充电器和推荐的充电方式, 在推荐的环境条件下给电池充电。/ Pls use compatible charger and right charge mothed, charge battery in recommended condition.

8.4.6 第一次使用/ Use it first time.

在第一次使用电池时, 若发现电池不整洁或有异味等不正常现象, 不可继续将电池用于使用设备, 应将电池返回销售商。/ When use battery first time, if battery is not clean or peculiar smell, can not use battery, return to supplier.

8.4.7 儿童使用/ Children use

儿童使用电池前, 应受父母指导, 并在使用中受监督是否正确。/ Before use, parents

绥中正国新能源科技有限公司 ZGnewenergy Co.,Ltd		文件编号: ZG-GG-GC-001 File No.: ZG-GG-GC-001
文件名称 File Name	ZG36130185P60Ah 产品规格书 ZG36130185P60Ah specifation	版本: A0/ Version: A0 页码: 19/19 Page: 19/19

should tech children how to use and supervise if use right.

8.4.8 安全使用保障/ Safety

如果将电池用于其他设备, 请与供应商讨论保护功能的完善性。至少应该咨询电池的大电流、快速充电、特殊应用的问题。/ If you use battery for other equipment, pls talk with supplier for function of battery protection system. At least consult big current, quickly charge, special application and so on.

Anexo 2. Cálculo Holtrop

Tabla 1. Cálculo resistencia total aplicando método Holtrop en una hoja de cálculo Excel. [6]

Datos del buque		
Eslora entre perpendiculares (m)	L	6,7
Manga (m)	B	1,95
Calado en la PP de proa (m)	Tf	0,22
Calado en la PP de popa (m)	Ta	0,22
Calado medio (m)	T	0,22
Volumen de carena (m ³)	Vol	1,599
Xcc en % de L a proa de 0.5 L (lcb)	Xcc	-8,6100
Superficie mojada estimada (m ²)	S	9,9
Superficie transversal del bulbo (m ²)	Abt	0,0
Altura centro bulbo (m)	hb	0
Coeficiente de maestra	Cm	0,683
Coeficiente de flotación	Cwp	0,829
Superficie del espejo (m ²)	At	0
Superficie de los apéndices (m ²)	Sapp	0
Coeficiente de formas de la popa	Cstern	-10
Velocidad kn	V	7,5
Datos de la propulsión (una hélice)		
Diámetro (m)	D	0,32
Número de palas	Z	3
Huelgo del propulsor con la línea base		0,100
Altura del eje desde la línea base (m)	ho	0,25
Rendimiento de la hélice	η_o	100
Rendimiento mec. de la línea de ejes	η_m	100
Densidad del agua (kg/m ³)	Ro	1025
Aceleración de la gravedad (m/s ²)	g	9,81
Viscosidad cinemática (m ² /s)	nu	1,19E-06
p0-pv (Pa)	p0-pv	100773,72
Datos deducidos		
Froude	Fn	0,48
Coeficiente prismático	Cp	0,642
Eslora en flotación	Lwl	6,70
Coeficiente de bloque	Cb	0,439
Reynolds	Re	2,175E+07
Longitud de la carrera	Lr	0,98

Quilla	1.5 - 2.0
Bulbo de popa	2,0
Arbotantes	2.0 - 4.0
Estabilizadores	2,8
Domo del sónar	2,7
Quilla anti balance	1,4
Valor de 1+k2	1,5

Elección de IE	
IE calculado	42,17
IE mínimo	12

Elección Cstern	
Sección en V (popa)	-10
Sección normal (popa)	0
Sección en U (popa)	10

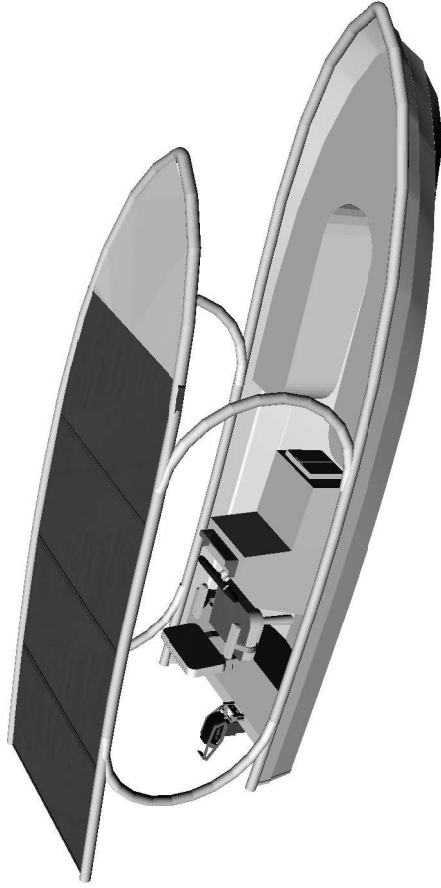
Resultados de resistencia		
Resistencia viscosa	Cv	0,28
Resistencia de apéndices	R _{app}	0,00
Resistencia por formación de olas	R _w	0,71
Resistencia del bulbo	R _B	0,00
Resistencia del espejo	R _{TR}	0,00
Resistencia por la correlación modelo-buque	R _A	0,06
Resistencia Total (kN)	R _{total}	1,046
Potencia Remolque (CV)	EHP	5,42
Potencia Remolque (kW)	EHP	4,04

Resultados de propulsion (una hélice)		
Coeficiente de estela	w	0,05
Coeficiente de succión	t	0,23
Rendimiento del casco	η_h	0,8104
Rendimiento rotativo relativo	η_{rr}	0,9551
Relación area expandida (fórmula de Keller)	Ae/Ao	0,4900
Empuje de la hélice en kN	T	1,360
Rendimiento propulsivo	η_p	7740,4573
Potencia de empuje (CV)	THP	6,68
Potencia de empuje (kW)	THP	4,98
Potencia al freno (CV)	BHP	0,00
Potencia al freno (kW)	BHP	0,00

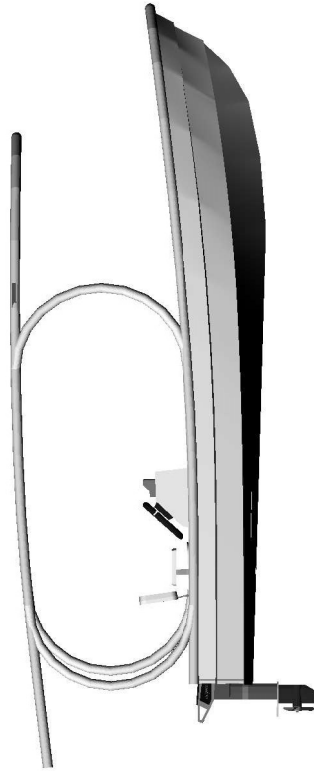
Anexo 3. Diseño 3D



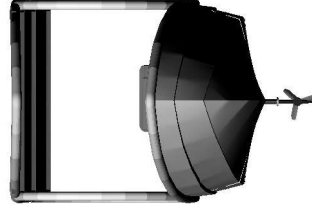
PLANTA



PRESPECTIVA



PERFIL ESTRIBOR



ALZADO PROA



Anexo 4. UNE-EN ISO 12217-1:2017

Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m. (ISO 12217-1:2015).

Mediante la empresa AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), con la ayuda de la Biblioteca de la UPC accederemos a la visualización de las normativas necesarias para emplear el proyecto.

Debido a la protección de esta normativa su visualización no nos permitirá adjuntar toda la normativa, así que definiremos los apartados utilizados durante el trabajo.

7. Aplicaciones

7.1 Decisión de la categoría de diseño

La categoría de diseño que finalmente se otorga a una embarcación con respecto a su flotabilidad y estabilidad es aquella para la que la misma cumple todos los requisitos apropiados, como se indica en el apartado 5.3 y en el capítulo 6.

7.2 Significado de las categorías de diseño

NOTA Véase tabla 6

7.2.1 Una embarcación a la que se ha dado la categoría de diseño A se considera que se ha diseñado para operar con viento de fuerza Beaufort menor de 10 y las alturas de ola correspondiente significativa.

7.2.2 Una embarcación a la que se ha dado la categoría de diseño B se considera que se ha diseñado para operar con un viento Beaufort de fuerza igual o menor de 8 y las olas asociadas de hasta 4m de altura significativa.

7.2.3 Una embarcación a la que se ha dado la categoría de diseño C se considera que se ha diseñado para operar con un viento característico estable de una fuerza Beaufort o menor de 6 y las olas asociadas de hasta 2m de altura significativa.

NOTA: Típicamente, estas condiciones se pueden encontrar en aguas expuestas interiores, en estuarios y en aguas costeras con unas condiciones moderadas de tiempo. Dependiendo de las condiciones atmosféricas, los vientos pueden alcanzar rachas de alrededor de 18m/s

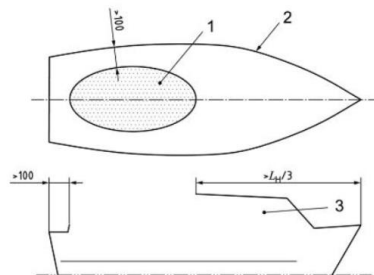
7.2.4 Una embarcación a la que se ha dado la categoría de diseño D se considera que se ha diseñado para operar con un viento característico estable de una fuerza Beaufort o menor de 4 y las olas asociadas de hasta 0.3 m de altura significativa y ocasionalmente de 0.5m

7.2.5 La altura significativa de la ola es la altura media de la mayor de un tercio de las olas, que aproximadamente corresponde a la altura de la ola estimada por un observador experimentado. Algunas olas alcanzarán el doble de esta altura.

Tabla 6 – Resumen de las definiciones de las categorías de diseño

Parámetro	Categoría de diseño			
	A	B	C	D
Fuerza Beaufort característica del viento	≤ 10	≤ 8	≤ 6	≤ 4
Altura de ola hasta	aproximadamente 7 m significativa	4 m significativa	2 m significativa	0,3 m significativa 0,5 m máxima
Velocidad del viento media máxima sobre 10 min	24,4 m/s	20,7 m/s	13,8 m/s	7,9 m/s
<p>NOTA 1 La altura significativa de olas es la altura media del tercio superior de las olas, que corresponde aproximadamente a la altura de ola estimada por un observador experimentado. Algunas olas pueden doblar su altura.</p> <p>NOTA 2 Según las condiciones atmosféricas, las rachas pueden aumentar temporalmente la velocidad del viento.</p> <p>NOTA 3 Velocidad máxima media del viento tomada del UK Met Office Fact sheet 6.</p>				

Medidas en milímetros



Legenda

- 1 Superficie del nicho abierto por su parte superior (inferior a los dos tercios del área total del contorno de la cubierta)
- 2 Contorno de la cubierta
- 3 Zona abrigada abierta o cabina cerrada

Opción	1	2	3	4	5	6
Categorías posibles	A y B	C y D	B	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Cubierta completa ^a	Cubierta completa ^a	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cubierta parcial ^b	Cualquier tipo excepto barco completamente cerrado ^c
Aberturas de inundación	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1
Ensayo de la altura de inundación	6.1.2	6.1.2	6.1.2	6.1.2 ^d	6.1.2	6.1.2
Ángulo de inundación	6.1.3	–	6.1.3	–	–	–
Ensayo de compensación de cargas	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Resistencia a las olas + viento	6.3	–	6.3	–	–	–
Escora debida a la acción del viento	–	6.4 ^e	–	6.4 ^e	6.4 ^e	6.4 ^e
Tamaño de los nichos	6.5	6.5 ^f	–	–	–	6.5.4 ^f
Multicascos habitables	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

3.1.7 embarcación con cubierta parcial:

Embarcación que no cumple con la definición de embarcación con cubierta completa y en la que el plano del área proyectada de cubiertas, cabinas, zonas abrigadas, pozos de motores fuera-borda, u otras cubiertas rígidas que sean estancas por su parte superior de acuerdo con la Norma ISO 12216 y que expulsen el agua inmediatamente por encima de la borda (es decir, no a través de los imbornales), y

- comprenda al menos una tercera parte del plano del área proyectada del contorno de la cubierta, y
- incluya todas las superficies situadas a menos de $L_H/3$ a partir de la roda, y
- incluya al menos una superficie de 100 mm hacia el interior del contorno de la cubierta,

excepto que el área de cualquier nicho estanco al agua con un volumen total inferior a $(L_H B_H F_M)/40$ pueda verter el agua a través de los imbornales.

NOTA 1 Esto viene ilustrado en la figura 1.

NOTA 2 Se considera que los pozos para los motores fuera-borda constituyen una protección adecuada para este fin.

Opción	1	2	3	4	5	6
Categorías posibles	A y B	C y D	B	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Cubierta completa ^a	Cubierta completa ^a	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cubierta parcial ^b	Cualquier tipo excepto barco completamente cerrado ^c
Embarcaciones mixtas vela-motor	6.7	–	–	–	–	–
Requisitos de flotación	–	–	6.8	6.8	–	–
Material de flotación	–	–	anexo G	anexo G	–	–
Detección y achique del agua	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9

a Este término se define en el apartado 3.1.6.

b Este término se define en el apartado 3.1.7.

c Es decir toda embarcación que no sea "completamente cerrada", incluyendo así las embarcaciones sin cubierta alguna.

d No es necesario realizar el ensayo de altura de inundación en algunas embarcaciones, véase el apartado 6.1.2.1.

e La aplicación del apartado 6.4 sólo se requiere para embarcaciones en las que la condición mínima de operación sea, $A_{LV} \geq 0,5 L_H B_H$.

f Estos requisitos sólo se aplican a la categoría de diseño C.

6.8 Requisitos de flotabilidad

Los ensayos de flotabilidad para demostrar que existe una adecuada flotabilidad y estabilidad después de inundación, se deben realizar utilizando el método que figura en el anexo F. Si se utilizan materiales o elementos de flotabilidad, éstos deben satisfacer los requisitos del anexo G.

No es necesario realizar los ensayos del nivel de flotación en las siguientes embarcaciones de las categorías de diseño C y D:

- las que, cuando se ensayen de acuerdo con el capítulo F.4, se haya comprobado que pueden soportar, además de la masa requerida en el capítulo F.2 y en la tabla F.5, en la misma localización, una masa seca equivalente suplementaria (kg) de $(75CL + 10\%$ de la masa seca de las provisiones y del material comprendido en la carga máxima total); o
- las que no embarquen agua cuando se escoren hasta 90° desde la posición de adrizado en la condición de embarcación en rosca.

6.9 Detección y achique del agua

6.9.1 La disposición interior de una embarcación debe facilitar el achique del agua, bien por:

- punto(s) de aspiración en la sentina;
- un emplazamiento desde el que se pueda achicar el agua rápidamente;
- o bien directamente por encima de la borda.

6.9.2 Las embarcaciones deben estar provistas de medios de achique del agua en las sentinas de acuerdo con la Norma ISO 15083. La capacidad de bombeo de la sentina (l/min) debe corresponder al grado de protección de las cubiertas y al riesgo consecuente de entrada de agua en la embarcación.

6.9.3 Las embarcaciones de la categoría de diseño C que utilicen las opciones 5 o 6 deben estar provistas de medios de detección de la presencia de agua en la sentina desde el puesto de gobierno, que deben comprender:

- inspección visual directa, o
- paneles de inspección transparentes en las molduras interiores, o
- alarmas de la presencia de agua en las sentinas, o
- una indicador del funcionamiento de las bombas de sentina automáticas, o
- cualquier otro dispositivo equivalente.

NOTA Un requisito esencial del apartado 3.5 de la Directiva Europea 94/25/CE exige que todas las embarcaciones se deben diseñar para poder minimizar el riesgo de naufragio, y en particular se debería prestar particular atención sobre:

- cabinas de gobierno y bañeras, que deberían ser autoachicables o estar provistas de medios que impidan que el agua penetre en el interior de la embarcación,
- dispositivos de ventilación,
- evacuación de las aguas por bombas adecuadas u otros medios.

Anexo 5. Materiales CES Edupack

Identification

Designation

5083

Condition

O (Annealed)

UNS number

A95083

EN name

EN AW-5083 (EN AW-Al Mg4,5Mn0,7)

EN number

3.3547

General Properties

Density

2.64e3 - 2.67e3 kg/m³

Price

* 1.93 - 2.12 EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Al/4.5Mg/0.7Cr/0.7Mn

Base

Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

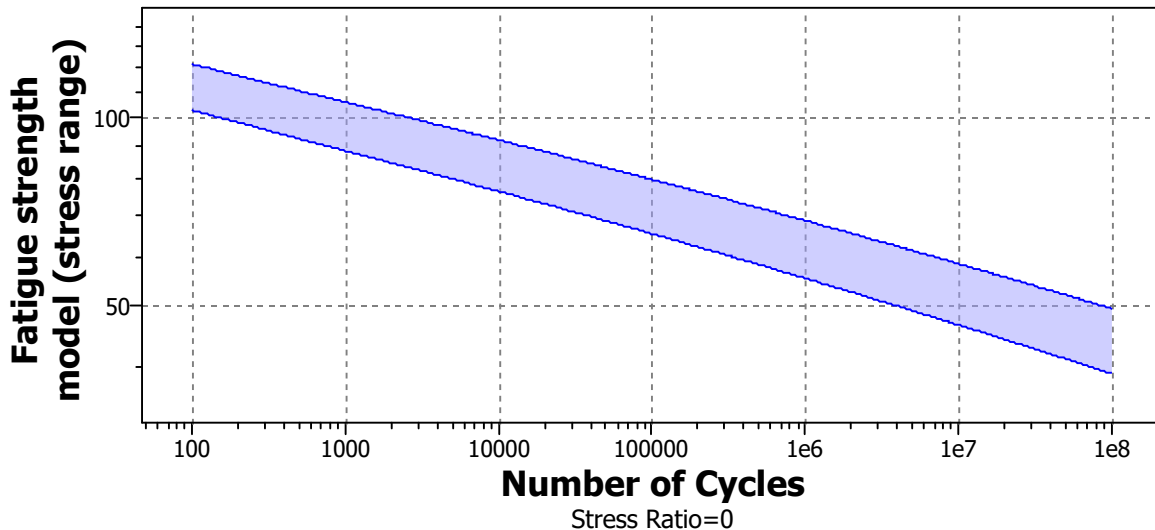
Al (aluminum)	92.1	-	95.5	%
Cr (chromium)	0.05	-	0.25	%
Cu (copper)	0	-	0.1	%
Fe (iron)	0	-	0.4	%
Mg (magnesium)	4.5			%
Mn (manganese)	0.1	-	1	%
Si (silicon)	0.4	-	0.7	%
Ti (titanium)	0	-	0.15	%
Zn (zinc)	0	-	0.25	%
Other	0	-	0.15	%

Mechanical properties

Young's modulus	70	-	73.6	GPa
Flexural modulus	* 70	-	73.6	GPa
Shear modulus	23	-	27	GPa
Bulk modulus	69	-	72.5	GPa
Poisson's ratio	0.33	-	0.343	
Shape factor	39			
Yield strength (elastic limit)	110	-	131	MPa
Tensile strength	248	-	283	MPa
Compressive strength	* 124	-	228	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	110	-	131	MPa
Elongation	12	-	16	% strain
Hardness - Vickers	71.3	-	78.8	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 63.6	-	66.7	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 46.7	-	58.5	MPa



[Parameters:](#) Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7



Fracture toughness	* 32	- 35	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-4	- 0.002	

Thermal properties

Melting point	580	- 640	°C
Maximum service temperature	130	- 200	°C
Minimum service temperature	-273		°C
Thermal conductivity	118	- 128	W/m.°C
Specific heat capacity	963	- 1e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	23.6	- 24.8	µstrain/°C
Latent heat of fusion	384	- 393	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	5.9	- 6.1	µohm.cm
Galvanic potential	* -0.82	- -0.74	V

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Durability: flammability

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Acceptable
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 202	- 223	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 13	- 14.4	kg/kg
Water usage	* 1.12e3	- 1.24e3	l/kg

Material processing: energy

Rough rolling, forging energy	* 4.3	- 4.75	MJ/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 8.31	- 9.18	MJ/kg
Wire drawing energy	* 30.4	- 33.6	MJ/kg
Metal powder forming energy	* 23.4	- 25.8	MJ/kg
Vaporization energy	* 1.55e4	- 1.71e4	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1.08	- 1.19	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 6.49	- 7.17	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 12.5	- 13.8	MJ/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 155	- 171	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Rough rolling, forging CO2	* 0.322	- 0.356	kg/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0.623	- 0.689	kg/kg
Wire drawing CO2	* 2.28	- 2.52	kg/kg
Metal powder forming CO2	* 1.87	- 2.07	kg/kg
Vaporization CO2	* 1.16e3	- 1.28e3	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0807	- 0.0892	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.487	- 0.538	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.938	- 1.04	kg/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 11.6	- 12.8	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 33.9	- 37.5	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 2.67	- 2.95	kg/kg
Recycle fraction in current supply	40.5	- 44.7	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		
A renewable resource?	✗		

Notes

Typical uses

Marine, auto, and aircraft applications, unfired welded pressure vessels, cryogenics, TV towers, drilling rigs, transportation equipment, missile components, armor plate. Applications requiring a weldable moderate-strength alloy having good corrosion resistance

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Standards with similar compositions

The following information is taken from ASM AlloyFinder 3 - see link to References table for further information.

CSA GM41 (ON Canada)
 CSA HA.4 0.5083 (ON Canada)
 CSA HA.5 0.5083 (ON Canada)
 CSA HA.7 0.5083 (ON Canada)
 ISO: Al-Mg4.5Mn
 UK (BS Pre-1980): N8
 USA (UNS): A95083
 Germany (W.-Nr): 3.3547
 Germany (DIN): AlMg4.5Mn
 France: A-G4.5MC
 Italy (UNI): 9005/5

Links

[ProcessUniverse](#)

[Producers](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

Identification

Designation

5754

Condition

O (Annealed)

UNS number

A95754

EN name

EN AW-5754

EN number

3.3535

ISO name

Al Mg3

General Properties

Density	2.65e3	-	2.7e3	kg/m ³
Price	* 1.9	-	2.09	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Al/2.6-3.6Mg/<.5Mn/<.4Fe/<.4Si/<.3Cr/<.2Zn/<.15Ti/<.1Cu

Base Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	94.2	-	97.4	%
Cr (chromium)	0	-	0.3	%
Cu (copper)	0	-	0.1	%
Fe (iron)	0	-	0.4	%
Mg (magnesium)	2.6	-	3.6	%
Mn (manganese)	0	-	0.5	%
Si (silicon)	0	-	0.4	%
Ti (titanium)	0	-	0.15	%
Zn (zinc)	0	-	0.2	%
Other	0	-	0.15	%

Mechanical properties

Young's modulus	69	-	72.5	GPa
Flexural modulus	* 69	-	72.5	GPa
Shear modulus	25.8	-	27.2	GPa
Bulk modulus	* 67.6	-	77.4	GPa
Poisson's ratio	0.32	-	0.34	
Shape factor	40			
Yield strength (elastic limit)	95	-	105	MPa
Tensile strength	198	-	219	MPa
Compressive strength	* 95	-	105	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 95	-	105	MPa
Elongation	21.9	-	25.4	% strain
Hardness - Vickers	52.3	-	57.8	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 111	-	135	MPa
Fracture toughness	* 30	-	36	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-4	-	0.002	

Thermal properties

Melting point	590	-	645	°C
Maximum service temperature	* 197	-	215	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	127	-	137	W/m.°C
Specific heat capacity	879	-	915	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	23.2	-	24.3	µstrain/°C
Latent heat of fusion	384	-	393	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	5.19	-	5.41	µohm.cm
Galvanic potential	* -0.82	-	-0.72	V

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Durability: flammability

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Acceptable
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 200	-	221	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 12.7	-	14	kg/kg
Water usage	* 1.13e3	-	1.24e3	l/kg

Material processing: energy

Rough rolling, forging energy	* 2.65	-	2.93	MJ/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 5.02	-	5.55	MJ/kg
Wire drawing energy	* 18	-	19.9	MJ/kg
Metal powder forming energy	* 5.12	-	5.66	MJ/kg
Vaporization energy	* 1.55e4	-	1.71e4	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.83	-	0.918	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 4.03	-	4.45	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 7.1	-	7.85	MJ/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 155	-	171	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Rough rolling, forging CO2	* 0.199	-	0.22	kg/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0.377	-	0.416	kg/kg
Wire drawing CO2	* 1.35	-	1.49	kg/kg
Metal powder forming CO2	* 0.38	-	0.42	kg/kg
Vaporization CO2	* 1.16e3	-	1.29e3	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0623	-	0.0688	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.302	-	0.334	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.533	-	0.589	kg/kg

Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)* 12 - 13 kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 33.6	-	37.2	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 2.64	-	2.92	kg/kg
Recycle fraction in current supply	40.5	-	44.7	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
A renewable resource?	✗			

Notes

Typical uses

A sheet alloy of medium strength with uses that include automotive body panels, boiler making, pressure vessels, piping, tubing, office equipment, ship building, offshore applications, rivets, road poles, welded structures in chemical, nuclear and food industries and architectural applications.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Identification

Designation

Thuja plicata (T)

General Properties

Density	320	-	390	kg/m ³
Price	* 1.63	-	2.18	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O

Base	Other
Wood type	Softwood

Composition detail (polymers and natural materials)

Wood	100	%
------	-----	---

Mechanical properties

Young's modulus	* 0.28	-	0.31	GPa
Flexural modulus	0.25	-	0.28	GPa
Shear modulus	* 0.029	-	0.039	GPa
Bulk modulus	* 0.15	-	0.16	GPa
Poisson's ratio	* 0.02	-	0.04	
Shape factor	5.4			
Yield strength (elastic limit)	* 0.84	-	1.02	MPa
Tensile strength	1.4	-	1.7	MPa
Compressive strength	2.85	-	3.49	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 1.4	-	1.7	MPa
Shear strength	* 18.4	-	22.4	MPa
Rolling shear strength	* 0.68	-	2.03	MPa
Elongation	* 1.49	-	1.82	% strain
Hardness - Vickers	1.4	-	1.71	HV
Hardness - Brinell	* 14.2	-	17.4	MPa
Hardness - Janka	1.4	-	1.71	kN
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 0.42	-	0.51	MPa
Fracture toughness	0.171	-	0.209	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.045	-	0.058	
Differential shrinkage (radial)	0.07	-	0.09	%
Differential shrinkage (tangential)	0.2	-	0.24	%
Radial shrinkage (green to oven-dry)	2.2	-	2.6	%
Tangential shrinkage (green to oven-dry)	4.5	-	5.5	%
Volumetric shrinkage (green to oven-dry)	6.1	-	7.5	%
Work to maximum strength	* 3.6	-	4.4	kJ/m ³

Thermal properties

Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-23	°C
Thermal conductivity	0.08	-	0.1	W/m.°C
Specific heat capacity	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 22.6	-	31.9	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	* 2.1e14	-	7e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	------	---------

Dielectric constant (relative permittivity)	* 2.39	-	2.92	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.027	-	0.033	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 1	-	2	MV/m

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Durability: flammability

Flammability	Highly flammable
--------------	------------------

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Limited use
Water (salt)	Limited use
Weak acids	Limited use
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Acceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 8.77	-	9.7	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 0.358	-	0.396	kg/kg
Water usage	* 665	-	735	l/kg

Material processing: energy

Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.56	-	0.619	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 1.32	-	1.46	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 2.17	-	2.4	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.042	-	0.0464	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0992	-	0.11	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.163	-	0.18	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	8.55	-	9.45	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 20.7	-	22.1	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.76	-	1.85	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			
A renewable resource?	✓			

Notes

Typical uses

Shingles; lumber; poles; posts; piles; exterior; siding; Interior finish; greenhouse construction; ship & boat building; boxes; crates; sash; doors; millwork

Warning

All woods have properties which show variation; they depend principally on growth conditions and moisture content.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

ProcessUniverse

Reference

Shape

Identification

Designation

Epoxy (Carbon Fiber, SMC)

Tradenames

Carboform; Ferropreg EP; Fiberdux; Fiberite; Scotchply

General Properties

Density	1.4e3	-	1.7e3	kg/m ³
Price	* 18.6	-	20.5	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Epoxy + C filler

Base	Polymer			
Polymer class	Thermoset plastic			
Polymer type	EP			
Polymer type full name	Epoxy resin			
% filler (by weight)	* 15	-	50	%
Filler type	Carbon fiber			

Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	* 50	-	85	%
Carbon (fiber)	* 15	-	50	%

Mechanical properties

Young's modulus	69	-	150	GPa
Compressive modulus	* 69	-	150	GPa
Flexural modulus	33.5	-	35.2	GPa
Shear modulus	* 27.8	-	60.5	GPa
Bulk modulus	* 63.4	-	66.6	GPa
Poisson's ratio	0.219	-	0.266	
Shape factor	22			
Yield strength (elastic limit)	* 221	-	276	MPa
Tensile strength	276	-	345	MPa
Compressive strength	207	-	276	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	517	-	655	MPa
Elongation	0.5	-	2	% strain
Hardness - Vickers	* 66.2	-	82.8	HV
Hardness - Rockwell R	* 130	-	135	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 109	-	142	MPa
Fracture toughness	* 25.8	-	38.3	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0012	-	0.00206	

Impact properties

Impact strength, notched 23 °C	* 79	-	110	kJ/m ²
--------------------------------	------	---	-----	-------------------

Thermal properties

Glass temperature	* 67	-	167	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	* 286	-	343	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	261	-	316	°C
Maximum service temperature	166	-	184	°C
Minimum service temperature	* -123	-	-73	°C
Thermal conductivity	5.8	-	6.3	W/m.°C

Specific heat capacity	* 1.29e3	-	1.34e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	5.29	-	5.51	µstrain/°C

Processing properties

Linear mold shrinkage	0.091	-	0.11	%
Molding pressure range	3.44	-	13.8	MPa

Electrical properties

Electrical resistivity	* 100	-	1e6	µohm.cm
Galvanic potential	0.14	-	0.22	V

Optical properties

Transparency	Opaque			
--------------	--------	--	--	--

Absorption, permeability

Water absorption @ 24 hrs	1.45	-	1.76	%
---------------------------	------	---	------	---

Durability: flammability

Flammability	Self-extinguishing			
--------------	--------------------	--	--	--

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Limited use			
Strong alkalis	Excellent			
Organic solvents	Limited use			
UV radiation (sunlight)	Good			
Oxidation at 500C	Unacceptable			

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 358	-	396	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 23.5	-	26	kg/kg
Water usage	* 660	-	730	l/kg

Material processing: energy

Compression molding energy	* 3.33	-	3.68	MJ/kg
----------------------------	--------	---	------	-------

Material processing: CO2 footprint

Compression molding CO2	* 0.266	-	0.294	kg/kg
-------------------------	---------	---	-------	-------

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	0.1			%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 30.2	-	31.8	MJ/kg
Combustion CO2	* 2.59	-	2.72	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
A renewable resource?	✗			

Notes

Typical uses

Lightweight structural members in aerospace, ground transport and sporting goods; springs; pressure vessels.

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

Identification

Designation

Epoxy Resin (Flexibilized)

Tradenames

Araldite; Epikote; Epolite; Fiberite; Lytex; Stycast

General Properties

Density	960	-	1.35e3	kg/m ³
Price	* 2.63	-	2.89	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

aromatic epoxide resin

Base	Polymer
Polymer class	Thermoset plastic
Polymer type	EP
Polymer type full name	Epoxy resin
Filler type	Unfilled

Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	100	%
---------	-----	---

Mechanical properties

Young's modulus	0.976	-	1.03	GPa
Compressive modulus	2.35	-	2.47	GPa
Flexural modulus	0.976	-	1.02	GPa
Shear modulus	* 0.344	-	0.361	GPa
Bulk modulus	* 2.04	-	2.14	GPa
Poisson's ratio	* 0.412	-	0.428	
Shape factor	3.8			
Yield strength (elastic limit)	38	-	42	MPa
Tensile strength	40	-	69	MPa
Compressive strength	* 50	-	96.5	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	50	-	89.6	MPa
Elongation	20	-	85	% strain
Hardness - Vickers	* 11.4	-	12.6	HV
Hardness - Rockwell M	* 50	-	70	
Hardness - Rockwell R	* 91	-	100	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 16	-	27.6	MPa
Fracture toughness	* 2.1	-	3.2	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.039	-	0.041	

Impact properties

Impact strength, notched 23 °C	12	-	26	kJ/m ²
--------------------------------	----	---	----	-------------------

Thermal properties

Glass temperature	* 67	-	167	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	158	-	203	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	72	-	108	°C
Maximum service temperature	122	-	138	°C
Minimum service temperature	* -43	-	7	°C
Thermal conductivity	* 0.203	-	0.211	W/m.°C
Specific heat capacity	* 1.59e3	-	1.66e3	J/kg.°C

Thermal expansion coefficient	36	-	180	µstrain/°C
Processing properties				
Linear mold shrinkage	0.1	-	1	%
Molding pressure range	* 2	-	12	MPa
Electrical properties				
Electrical resistivity	9.1e11	-	6.7e15	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	4.4	-	4.8	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0048	-	0.038	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	9.25	-	15.7	MV/m
Comparative tracking index	400	-	600	V
Optical properties				
Transparency	Transparent			
Absorption, permeability				
Water absorption @ 24 hrs	0.245	-	0.297	%
Water vapor transmission	0.664	-	0.994	g.mm/m².day
Permeability (O2)	1.74	-	4.48	cm³.mm/m².day.atm
Durability: flammability				
Flammability	Self-extinguishing			
Durability: fluids and sunlight				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Limited use			
Strong alkalis	Excellent			
Organic solvents	Limited use			
UV radiation (sunlight)	Fair			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
Primary material production: energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 127	-	140	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 6.83	-	7.55	kg/kg
Water usage	* 26.6	-	29.4	l/kg
Material processing: energy				
Polymer molding energy	* 22.9	-	25.3	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1.05	-	1.17	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 6.27	-	6.93	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 12.1	-	13.3	MJ/kg
Material processing: CO2 footprint				
Polymer molding CO2	* 1.83	-	2.02	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0791	-	0.0874	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.47	-	0.52	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.905	-	1	kg/kg
Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction				
Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	0.672	-	0.742	%

Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 30	-	31.5	MJ/kg
Combustion CO2	* 2.42	-	2.54	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
A renewable resource?	✗			

Notes

Typical uses

Potting; Casting; Encapsulating; Impregnating

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

Identification

Designation

Epoxy Unidirectional Composite (Glass Fiber)

General Properties

Density	1.6e3	-	1.95e3	kg/m ³
Price	* 19.4	-	27.4	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Epoxy + Glass Fibers

Base	Polymer
Polymer class	Thermoset plastic
Polymer type	EP
Polymer type full name	Epoxy resin
% filler (by weight)	30 - 60 %
Filler type	Glass fiber

Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	40	-	60	%
Glass (fiber)	40	-	60	%

Mechanical properties

Young's modulus	35	-	45	GPa
Compressive modulus	* 35	-	45	GPa
Flexural modulus	35	-	45	GPa
Shear modulus	* 14.5	-	18.6	GPa
Bulk modulus	* 20.1	-	25.9	GPa
Poisson's ratio	0.05	-	0.4	
Shape factor	6.8			
Yield strength (elastic limit)	300	-	1.1e3	MPa
Tensile strength	300	-	1.1e3	MPa
Compressive strength	360	-	880	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	300	-	900	MPa
Elongation	2	-	3	% strain
Hardness - Vickers	* 33	-	58	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 120	-	440	MPa
Fracture toughness	* 22.8	-	66.9	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00278	-	0.00332	

Impact properties

Impact strength, notched 23 °C	* 71	-	171	kJ/m ²
--------------------------------	------	---	-----	-------------------

Thermal properties

Glass temperature	100	-	180	°C
Maximum service temperature	* 170	-	190	°C
Minimum service temperature	* -123	-	-73	°C
Thermal conductivity	0.4	-	1.2	W/m.°C
Specific heat capacity	* 950	-	1.05e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	8.5	-	25	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	1e20	-	1e21	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	3.5	-	5	

Dielectric strength (dielectric breakdown)	11.8	-	19.7	MV/m
--	------	---	------	------

Optical properties

Transparency	Translucent
--------------	-------------

Durability: flammability

Flammability	Slow-burning
--------------	--------------

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Acceptable
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Limited use
Strong alkalis	Excellent
Organic solvents	Limited use
UV radiation (sunlight)	Fair
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 474	-	524	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 25.3	-	28	kg/kg
Water usage	* 154	-	170	l/kg

Material processing: energy

Autoclave molding energy	* 20.9	-	23	MJ/kg
Compression molding energy	* 3.33	-	3.68	MJ/kg
Filament winding energy	* 2.57	-	2.84	MJ/kg
Pultrusion energy	* 2.95	-	3.26	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Autoclave molding CO2	* 1.67	-	1.84	kg/kg
Compression molding CO2	* 0.266	-	0.294	kg/kg
Filament winding CO2	* 0.206	-	0.227	kg/kg
Pultrusion CO2	* 0.236	-	0.261	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	0.1			%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 12	-	12.6	MJ/kg
Combustion CO2	* 0.968	-	1.02	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
A renewable resource?	✗			

Notes

Typical uses

Ship and boat hulls; body shells; automobile components; cladding and fittings in construction; chemical plant.

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

Identification

Designation

Plywood (5 ply Beech, Parallel to face sheet)

General Properties

Density	700	-	800	kg/m ³
Price	* 0.263	-	0.804	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O/Adhesive

Base	Other
Wood type	Composite

Composition detail (polymers and natural materials)

Wood	100	%
------	-----	---

Mechanical properties

Young's modulus	5	-	8	GPa
Flexural modulus	7	-	10.5	GPa
Shear modulus	0.2	-	0.3	GPa
Bulk modulus	* 1.63	-	2.45	GPa
Poisson's ratio	0.2	-	0.3	
Shape factor	0			
Yield strength (elastic limit)	* 34.4	-	42.1	MPa
Tensile strength	45	-	70	MPa
Compressive strength	* 25	-	40	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	70	-	100	MPa
Shear strength	3	-	5	MPa
Elongation	* 2.43	-	2.97	% strain
Hardness - Brinell	31.5	-	38.5	MPa
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 22.6	-	27.6	MPa
Fracture toughness	* 0.5	-	1	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0077	-	0.0104	
Differential shrinkage (radial)	0.01	-	0.03	%
Differential shrinkage (tangential)	0.2	-	0.4	%
Work to maximum strength	92.9	-	114	kJ/m ³

Thermal properties

Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-23	°C
Thermal conductivity	0.3	-	0.35	W/m.°C
Specific heat capacity	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 6	-	8	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	* 6e13	-	2e14	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	* 7.36	-	8.99	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.087	-	0.107	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 0.4	-	0.6	MV/m

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Durability: flammability

Flammability Highly flammable

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Limited use
Water (salt)	Limited use
Weak acids	Limited use
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Acceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 13.8	-	15.2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 0.786	-	0.869	kg/kg
Water usage	* 665	-	735	l/kg

Material processing: energy

Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.876	-	0.969	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 4.49	-	4.96	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 8.5	-	9.4	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0657	-	0.0727	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.337	-	0.372	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.638	-	0.705	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	1.34	-	1.48	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 19.8	-	21.3	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.69	-	1.78	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			
A renewable resource?	✓			

Notes

Typical uses

Furniture, building and construction, marine and boat building, packaging, transport and vehicles, musical instruments, aircraft, modeling.

Warning

Properties depend strongly on moisture content.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

Identification

Designation

AISI 304

Condition

Solution annealed; cold or hot finished

UNS number

S30400

US name

ASTM WP304, ASTM TP304, ASTM S30403, ASTM S30400, ASTM MT304, ASTM F304, AMS 5697, AMS 5567, AMS 5566, AMS 5565, AMS 5564, AMS 5563, ~ASTM S30453

EN name

X5CrNi18-10, LW20

EN number

~1.4948, ~1.4301

ISO name

X5CrNi18-9E, X5CrNi18-9, ~X5CrNi19-9, ~X5CrNi18-8

GB (Chinese) name

ML0Cr18Ni9, 0Cr18Ni9(-R), 0Cr18Ni9(-Q), 0Cr18Ni9(-L), 0Cr18Ni9, ~0Cr19Ni9N(-R), ~0Cr19Ni9N(-Q), ~0Cr19Ni9N(-L), ~0Cr19Ni9N

JIS (Japanese) name

SUS304, SUSF304, SUS304-WSB, SUS304-WSA, SUS304TPY, SUS304TPD, SUS304TP, SUS304TKC, SUS304TKA, SUS304TBS, SUS304TB, SUS304FB, SUS304-CSP, SUS304N1-WPB, SUS304N1-WPA, SUS304 TF, SDP4, ~SUS304L, ~SCS13AA-CF

Tradenames

STAINLESS STEEL GRADE 304, Aalco (UK); 304 STAINLESS STEEL, AK Steel (USA); STAINLESS STEEL 304, Vegas Fastener (USA); 304 STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); 304L STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); STAINLESS STEEL GRADE 304L, Aalco (UK); 304L STAINLESS STEEL, AK Steel (USA);

General Properties

Density

7.85e3 - 8.06e3 kg/m³

Price

* 2.71 - 2.97 EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Fe/17.5-20Cr/8-11Ni/<2.0Mn/<1.0Si/<0.08C/<0.045P/<0.03S

Base

Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

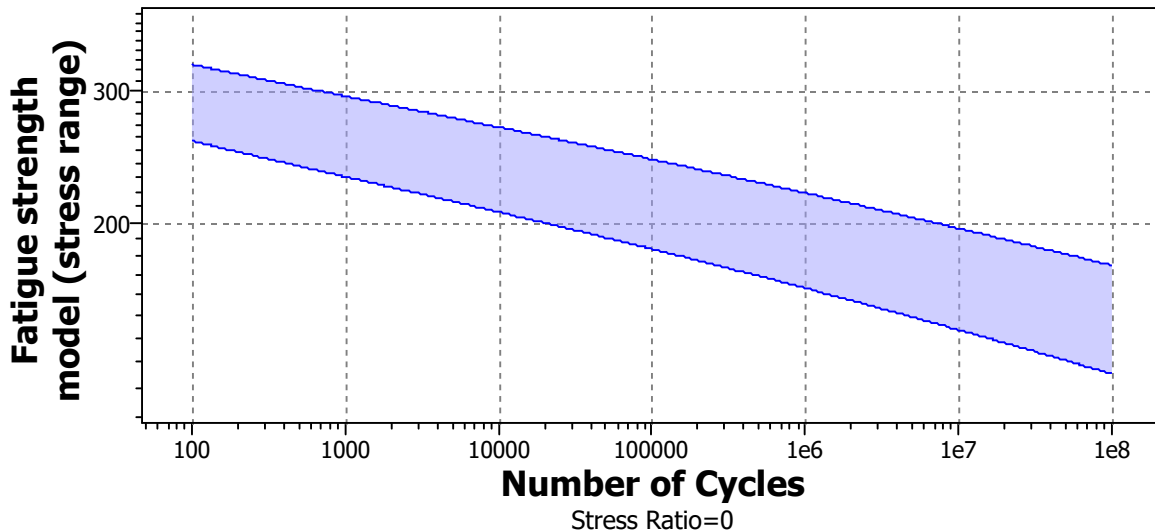
C (carbon)	0	-	0.08	%
Cr (chromium)	17.5	-	20	%
Fe (iron)	65.8	-	74.5	%
Mn (manganese)	0	-	2	%
Ni (nickel)	8	-	11	%
P (phosphorus)	0	-	0.045	%
S (sulfur)	0	-	0.03	%
Si (silicon)	0	-	1	%

Mechanical properties

Young's modulus	190	-	203	GPa
Flexural modulus	* 190	-	203	GPa
Shear modulus	74	-	81	GPa
Bulk modulus	134	-	151	GPa
Poisson's ratio	0.265	-	0.275	
Shape factor	62			
Yield strength (elastic limit)	205	-	310	MPa
Tensile strength	510	-	620	MPa
Compressive strength	* 205	-	310	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	205	-	310	MPa
Elongation	45	-	60	% strain
Hardness - Vickers	170	-	210	HV
Hardness - Rockwell B	75	-	85	
Hardness - Rockwell C	* 0	-	13.4	
Hardness - Brinell	149	-	201	MPa
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	229	-	253	MPa
Fatigue strength model (stress range)	144	-	196	MPa



Parameters: Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7



Fracture toughness	55	-	71	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 9.5e-4	-	0.0013	

Thermal properties

Melting point	1.4e3	-	1.45e3	°C
Maximum service temperature	750	-	925	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	14	-	17	W/m.°C
Specific heat capacity	490	-	530	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	16	-	18	µstrain/°C
Latent heat of fusion	* 260	-	285	kJ/kg

Processing properties

Cold forming	Good			
Hot forming	Good			
Machinability - speed	25.9	-	30.5	m/min
Weldability - MIG	Excellent			
Weldability - plasma	Excellent			
Weldability - SAW	Excellent			
Weldability - TIG	Excellent			

Carbon equivalency	4.03	-	5.23	
Brazeability	Fair			
Electrical properties				
Electrical resistivity	65	-	77	μohm.cm
Galvanic potential	* -0.16	-	-0.08	V
Magnetic properties (ambient temperature)				
Ferromagnetic?	×			
Optical properties				
Transparency	Opaque			
Durability: flammability				
Flammability	Non-flammable			
Durability: fluids and sunlight				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Excellent			
Strong acids	Acceptable			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Excellent			
Organic solvents	Excellent			
UV radiation (sunlight)	Excellent			
Oxidation at 500C	Excellent			
Corrosion resistance (relative to other metals)				
Pitting resistance equivalent number (PREN)	17.5	-	20	
Pitting and crevice corrosion	Low (<20)			
Stress corrosion cracking	Moderate			
Intergranular (weld line) corrosion	Restricted			
Inorganic acids	Moderate			
Organic acids	Moderate			
Alkalis	Moderate			
Humidity / water	Excellent			
Sea water	Moderate			
Sour oil and gas	Moderate			
Primary material production: energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 87.8	-	97.1	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 5.17	-	5.71	kg/kg
Water usage	* 138	-	153	l/kg
Material processing: energy				
Rough rolling, forging energy	* 2.29	-	2.53	MJ/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 4.3	-	4.75	MJ/kg
Wire drawing energy	* 15.3	-	17	MJ/kg
Metal powder forming energy	* 37.8	-	41.7	MJ/kg
Vaporization energy	* 1.09e4	-	1.2e4	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.776	-	0.858	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 3.49	-	3.85	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 6.5	-	7.18	MJ/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 109	-	120	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Rough rolling, forging CO2	* 0.172	- 0.19	kg/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0.322	- 0.356	kg/kg
Wire drawing CO2	* 1.15	- 1.27	kg/kg
Metal powder forming CO2	* 3.02	- 3.34	kg/kg
Vaporization CO2	* 815	- 900	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0582	- 0.0643	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.261	- 0.289	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.487	- 0.539	kg/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)*	8.15	- 9	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 18	- 19.9	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1.42	- 1.57	kg/kg
Recycle fraction in current supply	35.5	- 39.3	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		
A renewable resource?	✗		

Notes

Typical uses

Architectural applications; beer barrels; brewing; cafeteria equipment; cookware; cryogenic plant; food and dairy-processing equipment; heat-exchanger tubes and supports; pressure vessels; process plant parts.

Keywords

RDN 260, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 240, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 210, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 340, Roldan S.A. (SPAIN); YOONSTEEL S2, Yoonsteel (Malaysia) Sdn. Bhd (MALAYSIA); ARGESTE 4306 LA/LF/SB/VC, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); STAINWELD 308-15, Lincoln Electric Co. (USA); STAINWELD 308-16, Lincoln Electric Co. (USA); EASTERN STAINLESS TYPE 347, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 347, Carpenter Technology Corp. (USA); EASTERN STAINLESS TYPE 304L, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 7000 STAINLESS TYPE 304L, Carpenter Technology Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 304L, Carpenter Technology Corp. (USA); SPARTAN REDHEUGH 347S31, Spartan Redheugh Ltd (UK);

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Standards with similar compositions

The following information is taken from ASM AlloyFinder 3 - see link to References table for further information.

ONORM M3120 X5CrNi18105 (Austria)
 EN 10088/3(95) 1.4301 (Europe)
 EN 10088/3(95) X5CrNi18-10 (Europe)
 BDS 6738(72) 0Cr18Ni10 (Bulgaria)
 GB 1220(92) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 1221(92) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 13296(91) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 4232(93) ML0Cr18Ni9 (China)
 GB 4237(92) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 4238(92) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 4239(91) 0Cr18Ni9 (China)
 GB 4240(93) 0Cr18Ni9(-L,-Q,-R) (China)
 CSN 417240 17240 (Czech Republic)
 SFS 700 X4CrNi189 (Finland)
 SFS 725(86) X4CrNi189 (Finland)
 AFNOR NFA35573 Z6CN18.09 (France)
 AFNOR NFA35574 Z6CN18.09 (France)
 AFNOR NFA35577 Z6CN18.09 (France)
 AFNOR NFA36209 Z5CN18.09 (France)
 AFNOR NFA36607 Z5CN18.09 (France)
 DIN 17440(96) WNr 1.4301 (Germany)
 DIN 17441(97) WNr 1.4301 (Germany)
 DIN EN 10088(95) WNr 1.4301 (Germany)
 DIN EN 10088(95) X5CrNi18-10 (Germany)
 MSZ 4360(87) KO33 (Hungary)
 MSZ 4360(87) X8CrNi1810 (Hungary)
 MSZ 4398(86) KO33 (Hungary)
 IS 1570/5(85) X04Cr19Ni9 (India)
 IS 6527 04Cr18Ni10 (India)
 IS 6528 04Cr18Ni10 (India)
 IS 6529 04Cr18Ni10 (India)
 IS 6603 04Cr18Ni10 (India)
 IS 6911 04Cr18Ni10 (India)
 UNI 6901(71) X5CrNi1810 (Italy)
 UNI 6904(71) X5CrNi1810 (Italy)
 UNI 7500(75) X5CrNi1810 (Italy)
 JIS G3214(91) SUSF304 (Japan)
 JIS G4303(91) SUS304 (Japan)
 JIS G4303(91) SUS304J3 (Japan)
 JIS G4304(91) SUS304 (Japan)
 JIS G4305(91) SUS304 (Japan)
 JIS G4305(91) SUS304J1 (Japan)
 JIS G4305(91) SUS304J2 (Japan)
 JIS G4306 SUS304 (Japan)
 JIS G4307 SUS304 (Japan)
 JIS G4308 SUS304J3 (Japan)
 JIS G4308(98) SUS304 (Japan)
 JIS G4309 SUS304 (Japan)
 JIS G4309 SUS304J3 (Japan)
 JIS G4313(96) SUS304-CSP (Japan)
 JIS G4315 SUS304 (Japan)
 JIS G4315 SUS304J3 (Japan)
 DGN B-218 TP304 (Mexico)
 DGN B-224 TP304 (Mexico)
 DGN B-83 304 (Mexico)
 NMX-B-171(91) MT304 (Mexico)
 NMX-B-176(91) TP304 (Mexico)
 NMX-B-186-SCFI(94) TP304 (Mexico)
 NMX-B-196(68) TP304 (Mexico)
 NS 14350 14350 (Norway)
 AS 1449(94) 304 (NSW Australia)

Values marked * are estimates.
 No warranty is given for the accuracy of this data

Links

[ProcessUniverse](#)

[Producers](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

Identification
Designation

Tectona grandis (T)

General Properties

Density	610	-	750	kg/m ³
Price	* 5.45	-	8.73	EUR/kg

Composition overview
Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O

Base	Other
Wood type	Tropical

Composition detail (polymers and natural materials)

Wood	100	%
------	-----	---

Mechanical properties

Young's modulus	* 1.91	-	2.14	GPa
Flexural modulus	1.74	-	1.95	GPa
Shear modulus	* 0.197	-	0.272	GPa
Bulk modulus	* 0.97	-	1.09	GPa
Poisson's ratio	* 0.02	-	0.04	
Shape factor	5.7			
Yield strength (elastic limit)	* 2.7	-	3.3	MPa
Tensile strength	* 4.5	-	5.5	MPa
Compressive strength	* 6.72	-	8.22	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 4.5	-	5.5	MPa
Shear strength	* 35.1	-	42.9	MPa
Rolling shear strength	* 1.3	-	3.9	MPa
Elongation	* 0.69	-	0.85	% strain
Hardness - Vickers	4	-	4.89	HV
Hardness - Brinell	* 28	-	34.2	MPa
Hardness - Janka	4	-	4.89	kN
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 1.35	-	1.65	MPa
Fracture toughness	0.369	-	0.451	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.017	-	0.022	
Differential shrinkage (radial)	0.13	-	0.15	%
Differential shrinkage (tangential)	0.24	-	0.29	%
Radial shrinkage (green to oven-dry)	2.3	-	2.8	%
Tangential shrinkage (green to oven-dry)	5.2	-	6.4	%
Volumetric shrinkage (green to oven-dry)	* 11	-	18	%
Work to maximum strength	* 7.4	-	9.1	kJ/m ³

Thermal properties

Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-23	°C
Thermal conductivity	0.128	-	0.156	W/m.°C
Specific heat capacity	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 30.9	-	41.5	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	* 2.1e14	-	7e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	------	---------

Dielectric constant (relative permittivity)	* 3.82	-	4.67	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.053	-	0.064	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 1	-	2	MV/m

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Durability: flammability

Flammability	Highly flammable
--------------	------------------

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Limited use
Water (salt)	Limited use
Weak acids	Limited use
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Acceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Oxidation at 500C	Unacceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 9.82	-	10.9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 0.841	-	0.93	kg/kg
Water usage	* 665	-	735	l/kg

Material processing: energy

Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.579	-	0.64	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 1.52	-	1.68	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 2.56	-	2.83	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0435	-	0.048	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.114	-	0.126	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.192	-	0.212	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✗			
Recycle fraction in current supply	8.55	-	9.45	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 19.8	-	21.3	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.69	-	1.78	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			
A renewable resource?	✓			

Notes

Typical uses

Boatbuilding; furniture (esp. outdoor); flooring; decorative objects; decorative plywood.

Warning

All woods have properties which show variation; they depend principally on growth conditions and moisture content.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

[ProcessUniverse](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

Price

Price	2.45	-	4	EUR/kg
Notes Only includes contribution from specified material components (does not include processing, adhesives or additives)				

Physical properties

Density	1.37e3	-	1.43e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	28.4	-	30.8	GPa
-----------------	------	---	------	-----

Yield strength (elastic limit)	137	-	230	MPa
--------------------------------	-----	---	-----	-----

Notes
Expected failure mode = core failure

Flexural modulus	51.3	-	54.5	GPa
------------------	------	---	------	-----

Notes
Contribution due to core shear = 0.14%

Flexural strength (modulus of rupture)	845	-	1.37e3	MPa
--	-----	---	--------	-----

Notes
Expected failure mode = core failure

Thermal properties

Thermal conductivity	0.403	-	0.502	W/m.°C
----------------------	-------	---	-------	--------

Notes
Through thickness property

Specific heat capacity	1.11e3	-	1.2e3	J/kg.°C
------------------------	--------	---	-------	---------

Thermal expansion coefficient	6.14	-	7.39	µstrain/°C
-------------------------------	------	---	------	------------

Notes
Through thickness property

Electrical properties

Electrical resistivity	8.45e13	-	3.83e15	µohm.cm
------------------------	---------	---	---------	---------

Notes
Through thickness property

Dielectric constant (relative permittivity)	6.63	-	7.71	
---	------	---	------	--

Notes
Through thickness property

Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0557	-	0.0682	
--	--------	---	--------	--

Notes
Through thickness property

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	40.6	-	45.7	MJ/kg
-------------------------------------	------	---	------	-------

CO2 footprint, primary production	2.32	-	2.61	kg/kg
-----------------------------------	------	---	------	-------

Notes

Source records

Face-sheet = Glass, C grade (10 micron monofilament, f)
Core = Plywood (5 ply, beech), parallel to face layer

Parameters

Span = 10 m
Support and load conditions = Built-in ends
- Uniformly distributed load

Additional attributes

Face-sheet thickness = 3 mm
Core thickness = 10 mm
Material thickness = 16 mm
In-plane thermal conductivity = 0.6375 - 0.725 W/m.°C
In-plane thermal expansion coefficient = 6.064 - 6.879 $\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$
In-plane electrical resistivity = 8.551e11 - 4.059e15 $\mu\text{ohm.cm}$
Through thickness yield strength = 34.4 - 42.1 MPa
Through thickness modulus = 7.538 - 12.15 GPa

Model: Sandwich Panels, Balanced

Date of analysis: 27 August 2019

Price

Price	0.557	-	0.693	EUR/kg
Notes Only includes contribution from specified material components (does not include processing, adhesives or additives)				

Physical properties

Density	718	-	817	kg/m ³
---------	-----	---	-----	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	5.62	-	8.59	GPa
Yield strength (elastic limit)	30	-	58.3	MPa
Notes Expected failure mode = core failure				
Flexural modulus	6.83	-	9.8	GPa
Notes Contribution due to core shear = 0.01%				
Flexural strength (modulus of rupture)	122	-	151	MPa
Notes Expected failure mode = face-sheet yield				

Thermal properties

Thermal conductivity	0.291	-	0.366	W/m.°C
Notes Through thickness property				
Specific heat capacity	1.51e3	-	1.82e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	6	-	7.98	µstrain/°C
Notes Through thickness property				

Electrical properties

Electrical resistivity	9.31e13	-	2.63e14	µohm.cm
Notes Through thickness property				
Dielectric constant (relative permittivity)	7.34	-	8.96	
Notes Through thickness property				
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0862	-	0.106	
Notes Through thickness property				

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	24.1	-	29.7	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	1.32	-	1.62	kg/kg

Notes

Source records

Face-sheet = Glass, C grade (10 micron monofilament, f)
Core = Plywood (5 ply, beech), parallel to face layer

Parameters

Span = 10 m
Support and load conditions = Built-in ends
- Uniformly distributed load

Additional attributes

Face-sheet thickness = 0.05 mm
Core thickness = 10 mm
Material thickness = 10.1 mm
In-plane thermal conductivity = 0.3089 - 0.3599 W/m.°C
In-plane thermal expansion coefficient = 4.955 - 9.552 $\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$
In-plane electrical resistivity = 7.916e11 - 1.368e16 $\mu\text{ohm.cm}$
Through thickness yield strength = 34.4 - 42.1 MPa
Through thickness modulus = 5.027 - 8.102 GPa

Model: Sandwich Panels, Balanced

Date of analysis: 27 August 2019